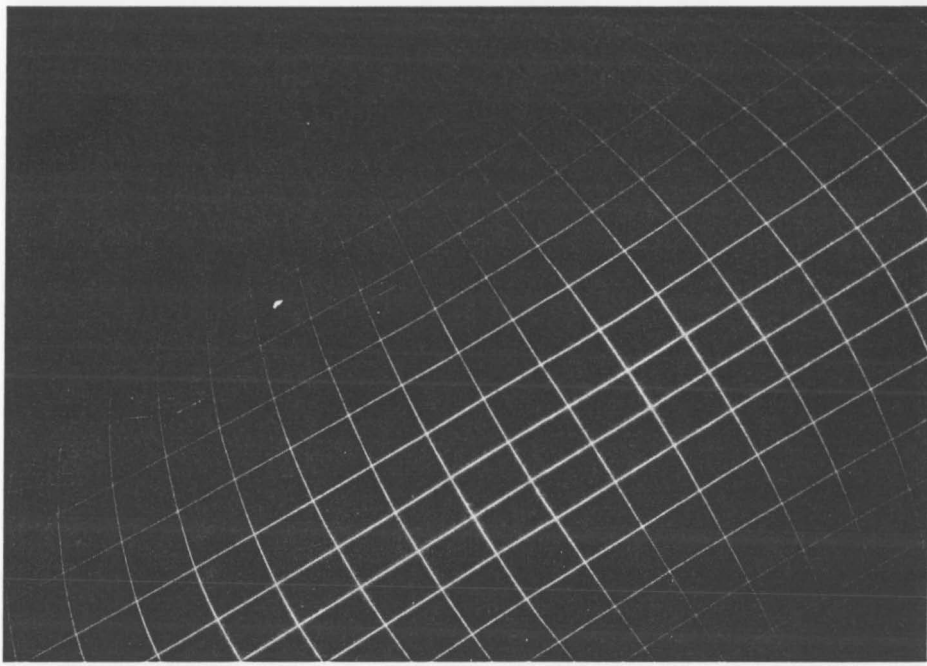
D. DENNETT, D. DEUTSCH, J. DIAMOND,
A. GUTH, R. KURZWEIL, M. MINSKY, S. PINKER,
L. RANDALL, M. REES, L. SMOLIN y otros

EL NUEVO HUMANISMO

Y las fronteras de la ciencia

Edición a cargo de **John Brockman**
Introducción de **Salvador Pániker**



Kairós

Daniel Dennett, David Deutsch, Jared Diamond,
Alan Guth, Marvin Minsky, Steven Pinker,
Lisa Randall, Martin Rees, Lee Smolin
y otros

EL NUEVO HUMANISMO

Y las fronteras de la ciencia

Edición a cargo de John Brockman

Introducción de Salvador Pániker

editorial Kairós

Numancia, 117-121
08029 Barcelona
www.editorialkairos.com

Título original: THE NEW HUMANISTS
Science At the Edge

Traducción del inglés: Elsa Gómez

© 2003 by John Brockman
All Rights Reserved
© de esta edición:
2007 by Editorial Kairós, S.A.

Primera edición: Junio 2007

ISBN: 978-84-7245-644-0
Depósito legal: B-7.886 / 2007

Fotocomposición: Pacmer, S.L. Alcolea, 106-108, bajos. 08014 Barcelona
Impresión y encuadernación: Romanyà-Valls. Verdaguer, 1. 08786 Capellades

Todos los derechos reservados. No está permitida la reproducción total ni parcial de este libro, ni la recopilación en un sistema informático, ni la transmisión por medios electrónicos, mecánicos, por fotocopias, por registro o por otros métodos, salvo de breves extractos a efectos de reseña, sin la autorización previa y por escrito del editor o el propietario del *copyright*.

SUMARIO

Agradecimientos 7
Introducción de SALVADOR PÁNIKER 9
Prólogo de JOHN BROCKMAN 29

Parte I : *HOMO SAPIENS*

JARED DIAMOND: Nueva síntesis científica de la historia de la humanidad 45
STEVEN PINKER: Interpretación biológica de la naturaleza humana 67
HELENA CRONIN: La verdad sobre la naturaleza humana 89
ANDY CLARK: ¿Somos ciborgs natos? 103
MARC D. HAUSER: Mentes animales 115
RICHARD WRANGHAM: La evolución de la cocina 137
DANIEL C. DENNETT: La perspectiva computacional 151
STEPHEN M. KOSSLYN: ¿Qué forma tienen las orejas de un pastor alemán? 167

Parte II: *¿MACHINA SAPIENS?*

JORDAN B. POLLACK: El software es un solvente cultural 191

DAVID GELERNTER: La segunda venida:
un manifiesto 203
RODNEY BROOKS: Crear sistemas vivos 217
HANS MORAVEC: Crear mentes 227
DAVID DEUTSCH: Computación cuántica 239
MARVIN MINSKY: ¿Qué vendrá después
de las mentes? 251
RAY KURZWEIL: La singularidad 271
JARON LANIER: La mitad de un manifiesto 291

Parte III: UNIVERSOS EN EVOLUCIÓN

SETH LLOYD: ¿Cómo de rápido, de pequeño, de potente?
La ley de Moore y el portátil definitivo 329
ALAN GUTH: La edad de oro de la cosmología 349
PAUL STEINHARDT: El universo cíclico 363
LISA RANDALL: Teorías de la brana 381
LEE SMOLIN: Gravedad cuántica de bucles 399
MARTIN REES: Una mirada hacia delante 427

Epílogo: Respuestas a *El nuevo humanismo* 439

Lecturas recomendadas 483

AGRADECIMIENTOS

Desde los comienzos mismos de *Edge*, he recibido el constante estímulo y apoyo de personas clave de la organización Barnes & Noble, entre ellas Steve Riggio, Mike Ferrari y Michael Friedman. En cierto momento me plantearon lo valioso que podría ser un libro basado en *Edge* (www.edge.org), y les agradezco su sugerencia y sus ánimos. También quiero dar las gracias a Michael Fragnito y a Laura Nolan, de Barnes & Noble Publishing, por secundar este proyecto.

Russell Weinberger, editor asociado de *Edge*, ha tomado parte en todos los aspectos relacionados con la publicación, y Christopher Williams realizó en estrecha colaboración conmigo la inicial labor editorial de transformar numerosas transcripciones de preguntas y respuestas en una obra de ensayo, y se ocupó, además, de traducir al inglés los textos de origen alemán. Mi agradecimiento a ambos por su inestimable contribución.

Quiero agradecer a Judy Herrick, de Typro, su trascripción de todas las entrevistas. Y finamente, estoy en deuda con Sara Lippincott por su serio y meticuloso trabajo de edición.

INTRODUCCIÓN:

A PROPÓSITO DE UN NUEVO HUMANISMO

SALVADOR PÁNIKER

En 1959, C.P. Snow dictó en Cambridge una famosa conferencia titulada *Las dos culturas y la revolución científica*, deplorando la escisión académica y profesional entre el ramo de las ciencias y el de las letras. En 1991, el agente literario John Brockman, recogiendo una expresión acuñada por el propio Snow, popularizó el concepto de *tercera cultura*, para referirse a la entrada en escena de los científicos-escritores. Según Brockman, "una educación estilo años cincuenta, basada en Freud, Marx y el modernismo, no es un bagaje suficiente para un pensador de los noventa". Pero lo notable del caso es que los intelectuales de letras seguían –siguen– sin comunicar con los científicos, y, en consecuencia, son estos últimos quienes están dirigiéndose ya directamente al gran público. Un gran público que comienza a estar familiarizado con nociones como biología molecular, inteligencia artificial, teoría del caos, fractales, biodiversidad, nanotecnología, genoma, etc.; un gran público que huye de viejas disquisiciones teológicas, pero que comienza a apasionarse con cuestiones secularizadas tales como ¿cuál es el origen de la vida?, ¿de dónde surgió la mente?, ¿cómo empezó el universo?

Pues bien, un nuevo humanismo debe poder enfrentarse con todos estos temas desde un cierto conocimiento de cau-

sa. Un nuevo humanismo debe recoger el arsenal de metáforas suministrado por las ciencias duras. Un nuevo humanismo ya no ha de ser tanto un humanismo clásico cuanto una nueva hibridación entre ciencias y letras. En el bien entendido que, desde siempre, la gravitación de la ciencia sobre la filosofía ha sido crucial. Emile Bréhier señaló que, en cada época, tanto o más que el modelo económico de producción, influye la imagen astronómica. Ello es que el divorcio entre ciencias y letras, que alcanza su cenit en la famosa frase de Sartre («la ciencia no me interesa para nada») es cosa harto reciente.

REFORMAS DE LENGUAJE

En lo que atañe a la filosofía, un nuevo humanismo debería estar atento no sólo a la ciencia sino al mayor número posible de corrientes de pensamiento vivo. Ello es que la filosofía no debe estar encerrada en un departamento académico profesional, sino ejercerse en un cruce interdisciplinario y en "conversación" –como diría Rorty– con todas las demás ciencias. Es lo que de alguna manera ya han venido haciendo autores como Bertrand Russell, Jean Piaget, Karl Popper, Gregory Bateson, Edgar Morin, etc., y, más recientemente, un E.O. Wilson, así como buena parte de antiguos "filósofos analíticos" que han comprendido que la filosofía es algo más que el desbrozo de sus instrumentos lingüísticos.

La filosofía tiene, en efecto, que trazar mapas de la realidad. El filósofo es, en palabras de Platón, «el que tiene la visión de conjunto (*synoptikós*)», es decir, el que organiza lo más relevante de la "información almacenada" (cultura) y esboza nuevas cosmovisiones (provisionales, pero coherentes). Por otra parte, la inicial intuición de los filósofos "analíticos" –que

fueron los primeros en señalar la importancia de evitar las trampas que nos tiende el lenguaje– no debe echarse en saco roto. Pienso, así, que un nuevo humanismo debería asumir ciertas reformas lingüísticas. Recordemos, por ejemplo, lo mucho que nos sigue condicionando todavía el viejo constructo aristotélico hecho de sujeto, verbo y predicado, que es también el modelo cartesiano de cognición sujeto-objeto. Esta convención es responsable –como ya denunciaran tanto Buda como David Hume– de incurrir en la falacia de creer que hay mente cuando lo único seguro es que hay actos mentales.

> Bien es verdad que esto no ocurre en todas las lenguas. Así por ejemplo, gran número de palabras chinas hacen tanto de substantivos como de verbos, de manera que a quien piensa en chino le cuesta poco advertir que el mundo es una colección de procesos más que de entidades.

El caso es que disecamos la realidad de acuerdo con los esquemas de nuestra lengua materna (hipótesis, hoy demasiado desprestigiada, de Benjamín L. Whorf), y que procede huir de la trampa del lenguaje convencional. Un lenguaje que, como digo, inventa substancias allí donde sólo hay actos y relaciones. Así, como acabo de apuntar, y tal como enseña el neurólogo Peter W. Nathan, es lícito usar el adjetivo *mental*, pero no lo es tanto referirse al substantivo *mente* –dicho de otro modo, es correcto afirmar que la percepción es un suceso mental, pero es erróneo inferir que la percepción ocurre en la mente–. La mente, el alma, la substancia, el yo, todas esas entelequias son inventos de la gramática y sólo tienen utilidad funcional si nos sirven como trampolín para saltar más allá del yo, más allá de la mente y más allá de la substancia, hacia *lo místico*, allí donde las dualidades se diluyen. Allí –dicho sea de paso– donde la muerte es mera anécdota.

Un nuevo humanismo, digo, ha de acometer reformas lingüísticas; lo que ocurre es que, al menos en filosofía, es muy difícil salirse de un determinado lenguaje. Martin Heidegger ya explicó que tuvo que renunciar a escribir la segunda parte de *El ser y el tiempo* por la inadecuación del lenguaje de la metafísica que siempre identifica el ser con el ente, olvidando la diferencia ontológica. Hoy, cuando la filosofía tiende a confundirse con la literatura, ¿qué otros recursos caben? ¿Un nuevo lenguaje *literario* a la vez preciso y flexible? ¿La permanente yuxtaposición de unos estímulos puntuales? ¿El flujo cambiante de unas relaciones sin substancia? ¿Aprender todos el chino? Gregory Bateson solía decir que hay que acostumbrarse a una nueva forma de pensar que substituya los objetos por relaciones. Pero substituir los objetos por relaciones es contar historias. De modo que Gregory Bateson nos estaba invitando a contar historias.

LIBRARSE DE LA INTUICIÓN Y DEL SENTIDO COMÚN

En todo caso, si bien se ha producido el llamado "giro lingüístico", nuestros hábitos sintácticos han cambiado poco. Cuando Julia Kristeva intentó elaborar una teoría formal del lenguaje poético, siendo la intención correcta, no consiguió llegar muy lejos. Sí llegó lejos el ya citado Heidegger, en su segunda época, quien también reivindicó la poesía –cuyo ejemplo supremo sería Hölderlin– como modelo de lenguaje no objetivante, no reducido a simple instrumento de información. Sólo que Heidegger llegó a embriagarse tanto de "oscuridad poética" que difícilmente se le podía seguir. En cuanto a los lenguajes *formales* usados por las ciencias duras, sucede que al final sólo son accesibles a un grupo reducidísimo de

especialistas. Así, pongo por caso, todavía las gentes ilustradas pudieron digerir en su día la teoría de la gravitación de Newton, e incluso la de la relatividad de Einstein (aunque ésta ya menos, la constancia de la velocidad de la luz es estrictamente contraintuitiva); pero ¿quién es capaz de seguir la endiablada complejidad matemática de la teoría de las supercuerdas? Y, con todo, hay ahí un camino a mi juicio irreversible. Pues, al margen del lenguaje que uno utilice, ha sonado la hora de liberarse de la tiranía de la intuición, el sentido común y otros embelecos parecidos. (Ya Bachelard enseñaba que sólo cuando se pone en duda lo evidente y se desprende uno del sentido común, se produce la "ruptura epistemológica" que permite el avance de la ciencia). Pero es que sucede que la paradoja está en el corazón de la realidad. Recordemos que Niels Bohr expuso el principio de complementariedad: las partículas elementales se comportan a la vez como ondas y como corpúsculos. Más todavía, quizá no haya partículas elementales sino sólo las vibraciones de una minúsculas y casi metafóricas cuerdas. La mentada teoría de las supercuerdas (la super viene de la supersimetría que incorpora) viene a diluir la materia en una especie de música que es también una estructura matemática. (Y si de las supercuerdas pasamos a las *p-branas*, mayor todavía la dilución).

En rigor, incluso dentro del modelo estándar de la física de partículas, éstas no son unas ridículas bolitas puntuales, sino algo todavía menos intuitivo, meramente relacionado con los *cuantos* de excitación de los campos. Quiere decirse que, en última instancia, la física no trata tanto con substancias como con relaciones. Sucede lo mismo en biología, donde una forma viva es un conjunto de relaciones, más que de partes. Lo que significa que, en términos generales, la realidad es antes abstracta y relacional que concreta y substancial. (Y, por consiguiente, mucho más poética de lo que se creía). Werner Hei-

senberg explicaba, al final de su vida, que lo verdaderamente fundamental en la naturaleza no son las llamadas partículas elementales sino las simetrías abstractas que hay más allá de ellas. Pudiéramos también aducir, como ejemplos, los sistemas de diseño genético o las informaciones formalizadas que definen nuestros estados de conciencia. En fin, y para que no haya equívocos, no se trata de platonismo sino de algo previo, precisamente de la superación de la dualidad concreto/abstracto. Y también de que, en su último nivel, no existe distinción entre lo material y lo mental.

Sí, es la hora de acostumbrarnos a los límites del sentido común y de la intuición. Por otra parte, ¿por qué la realidad habría de ser completamente inteligible? De entrada, el teorema de Gödel impugna la noción misma de una teoría *completa* de la natura: cualquier sistema de axiomas moderadamente complejo plantea preguntas que los axiomas no pueden responder. De otro lado, la Teoría de la Evolución ilumina nuestra oscuridad. Veámoslo a propósito del más racional y universal de los lenguajes, el lenguaje matemático. Galileo Galilei proclamó que «el gran libro de la naturaleza» viene escrito en caracteres matemáticos; Albert Einstein dijo que lo más incomprensible del Universo es que sea comprensible; Eugene Wigner habló de «la irrazonable efectividad de las matemáticas en las ciencias naturales». Ahora bien, quizá la cosa no sea tan irrazonable. Probablemente, ha sido el mismo proceso evolutivo del cerebro humano el responsable de haberse adaptado al descubrimiento de la dimensión matemática de la naturaleza. Lo que ocurre es que esta dimensión no tiene por que ser la única. Y nada nos obliga a pensar que el mundo ha de ser *completamente* inteligible. Al menos para nosotros, simios pensantes. Al menos en relación a lo que nosotros, simios pensantes, entendemos por inteligibilidad.

LA TRADICIÓN MÍSTICA

Un nuevo humanismo, por consiguiente, ha de asumir los límites de la ciencia y de los lenguajes. Condicionados por esos límites, condicionados porque todo hay que traducirlo al lenguaje del cerebro, la pregunta es: ¿puede la inteligencia humana "trascender"? ¿Puede el simio pensante alcanzar algún pedazo *real* de realidad? ¿O estamos condenados a soñar para, al despertar, pasar a otro sueño? He aquí que uno defiende la "trascendencia", ni que sea para escapar a la insoportable sensación de claustrofobia que genera la idea de estar encerrados en un mundo de sueños. (De sueños o *relatos*). Porque aún admitiendo lo de la encerrona, el "saber" que estamos encerrados (en las construcciones cerebrales, en el lenguaje, en un mundo tridimensional, etc.) ya es "trascender", ya es "apertura" a lo desconocido. Que no importa que sea "desconocido": lo que cuenta es que haya una "apertura" a ello. Incluso denunciar que la filosofía y la ciencia son tan *mágicas* como la religión y el mito, eso también es "trascender". Eso es ejercicio "crítico" en su acepción más honda.

Porque ¿*desde* dónde sabemos que estamos condicionados? Lo sabemos desde fuera del condicionamiento. ¿Y qué hay fuera del condicionamiento? Fuera del condicionamiento no hay nada. Ahora bien, esta *nada* es lo místico. He ahí la intuición de Wittgenstein: precisamente los límites del lenguaje *muestran* lo inexpresable. Y surge una cierta exigencia de tener algún acceso directo a lo real.

El caso es que se va configurando, en primer lugar, una cierta zona de claroscuro, entre física y metafísica, que la misma ciencia contribuye a despejar cuando cobra conciencia de sus propios límites. Así, por ejemplo, cabe pensar que estamos atrapados en un universo de tres dimensiones espaciales y una temporal, sin enterarnos de lo que ocurre "fuera", donde

quizá haya muchas más dimensiones. Dimensiones inimaginables por definición.

> Recordemos que según la Teoría de las supercuerdas, nuestro Universo tendría como mínimo diez dimensiones, seis de ellas ocultas. (Once dimensiones según la teoría M). Nuestras leyes físicas funcionan para nuestras pocas dimensiones visibles, para la *brana* del espacio tridimensional en la que estamos atrapados. Al parecer, sólo la fuerza de la gravedad atravesaría todas las dimensiones, incluso aquellas no reconocibles en nuestro mundo, y de ahí, por cierto, una posible explicación de la sorprendente expansión acelerada del cosmos, que no se debería tanto a una extraña fuerza de repulsión gravitatoria –el impulso de la "energía oscura"– como a la debilitación de la misma gravedad, la cual se "escaparía" hacia esas dimensiones ocultas, precipitando el alejamiento acelerado de los cuerpos celestes.

Ciertamente, esas dimensiones extra sólo emergen de las matemáticas de la teoría de cuerdas, una teoría por el momento especulativa; pero es plausible creer provisionalmente en ellas. También es plausible pensar que el propio tejido del espacio/tiempo está compuesto de entidades más fundamentales –los "átomos" del espacio/tiempo– que serían aespaciales y atemporales. (Léanse los libros de Brian Greene). Ahora bien, ¿quién puede negar que esas especulaciones físicas no habrán de condicionar nuestra futura metafísica? Ello es que la ciencia, a medida que va profundizando en la estructura de la realidad material, va arrojando también bastante luz sobre los condicionamientos de nuestro pensar. Y eso no puede ponerse entre paréntesis. Quiere decirse que nuestra metafísica depende también de nuestra física.

Por otra parte, más allá de la conciencia de los condicionamientos, más allá de la zona de claroscuro fronterizo de la ciencia, más allá del concepto mismo de humanismo, se presiente la posibilidad de una vía de acceso directo a lo real, en la que se diluyan, en general, todas las dualidades, y especialmente la muy general entre sujeto y objeto. Recuperamos así una sabiduría muy antigua. Se trata de una visión no-dual de la realidad a la que el Vedanta hindú llamó *advaita*. También el budismo y el taoismo han proclamado la naturaleza no-dual de la realidad –la cual sólo se revelaría en una cierta *iluminación* a la que algunos llaman experiencia mística–. El budismo mahayana llega al extremo de negar incluso la dualidad entre dualidad y no-dualidad, y de ahí la famosa sentencia de que "samsara es nirvana". Como lo tengo escrito en otro lugar, budismo y Vedanta difieren en que mientras el primero es una metafísica basada en la negación del sujeto, el segundo se basa en la negación del predicado. Ahora bien, alcanzada la no-dualidad, todo incide.

El caso es que todas las tradiciones místicas solventes (y hay muy pocas) han comenzado su enseñanza partiendo de lo no-dual. Lo no-dual como absoluto, y, muy generalmente, como infinito. Ya sé que en física, en cuanto aparecen cantidades infinitas, todo se derrumba; pero en metafísica sucede casi lo contrario: lo incomprensible, lo esencialmente insatisfactorio, e incluso ridículo y estrafalario, es lo finito. (¿Cabe algo metafísicamente más insatisfactorio que un conjunto finito? ¿De dónde su absoluta arbitrariedad?). Y ya digo que resulta notable, pero es el caso que, casi sin excepción, las escrituras sagradas de las tradiciones más solventes comienzan su exposición con lo infinito. Sin prefacios previos. Sin lógicas que conduzcan a ello. A ningún místico se le ocurre la idea de "probar" la existencia de lo infinito. Por el contrario, lo infinito es el punto de partida, la expe-

riencia primordial que lo abarca todo, aquello único que vence a la nada.

Entiéndase bien. No estoy sugiriendo que la ciencia aboque a la mística. No creo, por ejemplo, que pueda hacerse un uso "místico" de la no-localidad cuántica. Precisamente lo místico surge de los límites de la ciencia. Lo místico es el resultado de una sensibilidad especial: hay quien la tiene, hay quien no la tiene. (Curiosamente, por cierto, muchos de los más grandes forjadores de la nueva física la han tenido, como ha puesto de relieve Ken Wilber en su libro *Cuestiones cuánticas*.)

Mística viene del griego *mýein*, "cerrar" (los ojos o la boca), y quizá no sea el vocablo más adecuado para referirse a esa experiencia de suprema lucidez que nos hace vislumbrar –sólo vislumbrar– el último misterio de la realidad y que, en sí misma, poco tiene que ver con las religiones. Aunque, por otra parte, algo de "ojos cerrados" sí tiene la experiencia mística, pues su valor epistemológico es nulo. Si la conceptualización es obra del yo, trascendido el yo se trasciende también el concepto: la experiencia mística no enseña nada conceptualizable. La gente cree que la iluminación es un estado en el que al fin se comprende todo; la verdad es más bien la contraria: la iluminación es un estado en el que, al fin, ya no se comprende nada.

Resulta coherente, pues, que la ciencia no corrobore ni falsee la visión mística. Lo que ocurre es que la ciencia, con su aproximación cada vez más misteriosa a la realidad, contribuye –a diferencia de otras épocas– a *reencantar* el mundo, a propiciarlo para la vivencia trascendente. La misma materia ha dejado de ser ese "asunto aburrido" del que todavía se quejaba Whitehead. La ciencia proporciona hoy las mejores metáforas, y ellas son bastante connaturales con la visión de los llamados "místicos". Precisamente porque ciencia y mística

tienen poco que ver. Sabemos que hay trascendencia, aunque poca cosa podamos decir de ella. El caso es que, finalmente, el lenguaje de la ciencia y el no-lenguaje de la mística configuran una cierta misteriosa complementariedad.

LO INFINITO

He mencionado esa zona de claroscuro físico/metafísico en la que tienden a diluirse las dualidades, y, muy especialmente, la dualidad sujeto-objeto. Es una zona también "poética" en la que las fronteras entre disciplinas se hacen tenues, y nuevas metáforas emergen. Volvamos a la dialéctica entre lo finito y lo infinito, que Hegel conducía hasta la identidad de contenido entre religión y filosofía. Con las reservas ya apuntadas sobre la radical heterogeneidad entre ciencia y mística, podemos recoger algunas metáforas relacionadas con lo infinito en "física" para ensanchar nuestra "metafísica". Ciertamente, ya hemos dicho que en ciencia lo infinito está vedado, y que sólo emerge (cuasi clandestinamente) bajo forma de *singularidad*. Un ejemplo del veto científico a lo infinito lo proporciona el intento de unir relatividad general y física cuántica. Las ecuaciones combinadas de ambas teorías siempre dan una respuesta: infinito. Lo cual carece de significado. Ahora bien, en otros ámbitos de la física sí se admiten algunos infinitos. Podemos recordar, por ejemplo, que la mecánica cuántica asocia sus sistemas al llamado espacio de Hilbert, que tiene infinitas dimensiones. También cabe pensar que el número de las partículas elementales sea de una variedad inagotable, de la cual sólo una pequeña fracción es observable –una insinuación recogida por la teoría de las supercuerdas–. En fin, según el modelo de la inflación caótica (Andrei Linde) existe un universo base probablemente infinito formado

por subuniversos también infinitos donde existen burbujas homogéneas. (Por cierto, dentro de este enjambre infinito de universos, nosotros los humanos habitaríamos uno que permite la aparición de formas biológicas complejas. Así, la existencia de universos paralelos proporcionaría una explicación natural del llamado Principio Anrópico, el ajuste preciso de los parámetros cosmológicos que hacen posible la vida.) Así, también, se nos ocurre especular que todas las posibles –e infinitas– expresiones matemáticas de la realidad física tengan cumplimiento, si no en éste, en otros posibles universos. Más aún, sucede que en nuestro propio mundo presidido por la mecánica cuántica, la naturaleza, cuando no es observada, incluye todas las situaciones posibles –una partícula no es más que una *onda de probabilidad*–, y sólo cuando realizamos una observación experimental, la naturaleza elige una posibilidad: es el llamado "colapso de la función de onda". Ampliando la perspectiva, y utilizando la analogía, se diría que el mundo real (finito) es el colapso de la infinitud potencial.

En todo caso, la ciencia no pasa de ser la más afinada de nuestras metáforas para referirse a una realidad que siempre nos sobrepasa. No soy un fanático de lo que se ha llamado *filosofía perenne*, y ya he dicho que tampoco soy de los que defienden la correlación, sin más precisiones, entre física cuántica y misticismo; ahora bien, sí sospecho que existe un denominador común en el mensaje de los místicos, y que este denominador común es –como he apuntado antes– el que viene expresado en la idea de lo infinito.

En clave física/metafísica, ha habido un proceso desde la consideración de lo infinito como imperfección e indeterminación (mundo griego) hasta la idea de lo infinito como perfección y plenitud absoluta (mundo oriental y cristiano). La idea platónica del Bien ya tuvo influjos orientales. Filón de Alejandría marca un punto de inflexión y escribe «sobre la

eternidad del mundo». Durante siglos, la Patrística cristiana siente dudas ante la idea de la infinitud de Dios. Durante la Baja Edad Media cristiana, santo Tomás y otros maestros se esfuerzan por conciliar la infinitud de Dios con la finitud del mundo. Al terminar el Medioevo, el carácter infinito de Dios se proyecta insensiblemente hacia el mismo mundo. Guillermo de Ockham llega incluso a admitir el *regressus in infinitum* (en la serie de las causas eficientes) que tanto temieron Aristóteles y santo Tomás. Nicolás de Cusa es el primer autor cristiano que proclama la infinitud del mundo. Giordano Bruno, siguiendo al Cusano, comienza de este modo su discurso ante los inquisidores venecianos: «yo enseño un universo infinito, obra del infinito poder divino». Spinoza hará coincidir ambos infinitos: *Deus sive natura*.

De este modo, la noción de lo infinito como perfección se abre paso y alcanza a todo tipo de sensibilidades. «Je ne vois qu'infini par toutes les fenêtres», decía Baudelaire. Y el profético William Blake lo expuso en frase célebre: «Si las puertas de la percepción quedasen limpias, todo aparecería al hombre tal como es: infinito». Pascal lo había planteado así: «apprenez que l'homme passe infiniment l'homme». El propio Descartes postula que «la idea de lo infinito está en mí antes que la de lo finito». Corrobora Malebranche: «lo finito solamente puede verse *desde* lo infinito». En general, la revolución científica del siglo XVII significa, según Alexandre Koyré, el cambio paradigmático de un mundo cerrado a un universo infinito. Los románticos considerarán que lo finito es un momento en el proceso infinito de lo absoluto. Precisamente la categoría de "romántico" es definida por Schlegel como «aspiración al infinito». Lord Tennyson hablaba de la disolución de la individualidad en Lo Ilimitado. Hay un cuadro de De Chirico, *Nostalgia dell'Infinito* (una alta torre sobre un paisaje casi desértico), que sugiere esa capacidad

humana de presentir lo que no tiene límites. Ello es que todos estos pensadores y artistas han recapitulado una ancestral vivencia. Porque existe, claro está, una genealogía de la idea filosófica de infinito, desde el *ápeiron* de Anaximandro hasta el infinito especulativo de Hegel, pasando por Filón, Plotino, Duns Escoto, el cardenal de Cusa, Bruno, Spinoza, Fichte, Schlegel. Sin olvidar a Kierkegaard, para quien «la angustia es el terror del espíritu finito ante su propia infinitud». Más toda la teología negativa. Más toda la metafísica de Oriente.

Idea de lo infinito, vivencia de lo infinito. Existe un *pathos* de lo infinito. Hay quien lo tiene, hay quien no lo tiene. Sucede que el *pathos* de lo infinito se corresponde, aproximadamente, con la sensibilidad mística. Una manera de deslindar este *pathos* la encontramos en la actitud –respectivamente abierta o cerrada– en relación al posible final de la ciencia o la filosofía. Así, quienes poseen el *pathos* de lo infinito saben que la ciencia es una aventura interminable. Más aún, saben que no hay una "respuesta última" para el misterio de la realidad. Lo que ocurre es que el mismo lenguaje, que sólo puede concebir lo infinito como una negación –*a-peiron, an-anta, in-finitum, un-endlich*, etc–, nos induce a creer que lo incomprensible es lo infinito, cuando en rigor es lo contrario: lo que no se entiende es lo finito. La gratuidad absoluta de las cosas limitadas.

> Bien es verdad que hay quien piensa que la existencia auténtica es, precisamente, la que asume decididamente su propia finitud. Así, para Heidegger (*Qué es metafísica*), «el ser es finito en su esencia» –porque «sólo se manifiesta en la trascendencia del Dasein que se mantiene fuera, que se arroja a la nada»–. Una mística de la finitud. Plausible, angosta, sobre el fondo permanente de la muerte.

De otra parte, hay que admitir que, enfocado desde otro ángulo, lo infinito es monstruoso. Lo infinito produce un desasosiego absoluto. Lo infinito es *tremens et fascinans*. También inconcebible.

Inconcebible, pero no inconceptualizable.

Hubo que esperar hasta el siglo XIX, con Cantor y Dedekind, para que fuese posible una definición puramente lógica de lo infinito –al menos del infinito matemático– sin hacer ninguna referencia a lo finito. Fue Cantor particularmente quien, al desarrollar la "aritmética de los números transfinitos", dotó de contenido matemático al concepto de infinito actual. Cantor consiguió domesticar al infinito y descubrió una manera rigurosa y precisa de tratarlo. A partir de Cantor también lo finito podrá definirse como lo "no infinito".

En cualquier caso, la misma noción de finitud carece de sentido sin el referente infinito. Esto lo vio muy claro Hegel. Más aún, si volvemos a la metáfora de que cualquier cosa *real* es un "colapso" de la infinitud, resulta que cualquier cosa real es un vislumbre de la divinidad. Lo cual también fue atisbado por el ya citado cardenal de Cusa, quien unificó el concepto abstracto de infinito matemático con la infinitud real de lo divino, y, además, escribió que «toda criatura es infinitud finita».

Digamos, pues, que cualquier cosa real, en tanto que real, acaba diluyendo la dualidad sujeto-objeto. Ciertamente, hay observadores además de fenómenos, pero la misma mecánica cuántica es incompatible con la lógica clásica, y cualquier artista sabe que el creador y la cosa creada son lo mismo, y que el cerebro no es un simple receptor pasivo de información. Yo me trasciendo en mis actos; mis actos se trascienden en el proceso total del mundo; el proceso total del mundo se inscribe en una matriz inacabable... Ello es que la ciencia y la

metafísica nos permiten ampliar nuestra panorámica de metáforas. Puede decirse, así, que si la matriz de la cual todo procede es infinita –traducción secularizada del mito de Dios–, el espectro de lo real se amplia ilimitadamente. Sin olvidar la famosa frase de J.S.Haldane, la que dice que «la realidad, no sólo es más extraña de cómo la concebimos, sino más extraña de cómo *podamos* concebirla».

Concluyamos, pues, en que tanto la ciencia como la metafísica siguen dando cabida, de algún modo, a lo infinito. Así, por ejemplo, en la singularidad matemática del Big Bang, los parámetros físicos se hacen infinitos significando algo así como el colapso de la nada para dar nacimiento a algo. Una metáfora que no hubiera desagradado al Maestro Eckhart, quien habló de la deidad –distinta de Dios– como una nada. Se dirá que, en física cuántica –definida en términos de teoría de campos, previos a las partículas y a las ondas– la nada viene substituida por el vacío, y el vacío es una especie de océano repleto de partículas virtuales, es decir, de campos cuánticos que son algo más que meras ficciones. De hecho, la noción intuitiva de vacío –en la que todos los campos tienen valor cero– es incompatible con la mecánica cuántica por causa del principio de indeterminación. El vacío *fluctúa* siempre. En todo caso, aquí estamos echando mano de metáforas, en el bien entendido que la propia ciencia aboca a un claroscuro donde reaparece siempre el misterio. (El reduccionismo científico sólo es una manera de hacer inteligible el mundo). Y sucede que cualquier especulación (científica o no) naufraga, y al final, para un mínimo acceso a lo real, sólo nos queda el recurso a una cierta experiencia mística, poética, estética, musical, transpersonal, o cómo quiera llamarse, que quizá sea la única experiencia real –porque, además, es la experiencia del cerebro completo, y no sólo la de su hemisferio analítico/racional–.

ARTE, CIENCIA, TEXTOS SAGRADOS Y TRANSDISCIPLINARIEDAD

En resolución. Un nuevo humanismo debería comenzar abjurando del mismo y arrogante concepto de humanismo, el que coloca al animal humano como centro y referencia de todo lo que existe. Un nuevo humanismo es compatible con la sensibilidad mística y metafísica. Un nuevo humanismo, por otra parte, no puede ponerse de espaldas a la ciencia. Naturalmente, no se trata de incurrir en el oscurantismo pseudocientífico denunciado por Alan Sokal y Jean Bricmont en su conocido libro *Imposturas intelectuales*. No hay que usar la jerga científica en contextos que no le corresponden. Tampoco se trata de caer en un relativismo epistémico radical (que surge de una mala digestión de las obras de Kuhn y Feyerabend), ni de creer que la ciencia es una mera *narración*, o una pura construcción social. Ni de buscar síntesis atolondradas entre Ciencia y Mística. La tarea es previa y más respetuosa con la autonomía de la ciencia. Se trata de conocer de verdad nuestros condicionamientos esenciales. Se trata de que los paradigmas científicos fecunden realmente a los discursos filosóficos e incluso literarios. En arte ello es ya moneda común. De hecho, existe desde hace tiempo una interactividad inconsciente entre arte y ciencia.

> Recordemos, por ejemplo, el proceso de la pintura desde el movimiento impresionista a finales del siglo XIX. El impresionismo pictórico nace en Francia cuando los pintores Renoir y Monet, allá por 1869, descubren que las sombras no son pardas ni negras, sino coloreadas en su periferia, y que el color local de los objetos queda modificado por reflejos de otros objetos, por contrastes de colores yuxtapuestos y, sobre todo, por la luz que los ilumina. Una luz que se hace he-

gemónica. De este modo, más que pintar objetos iluminados, lo que hay que hacer es pintar a la luz misma. El misterio de la natura no está escondido en recónditas combinaciones que haya que tantear mezclando colores en la paleta, sino que se muestra, con la colaboración del espectador, en cualquier experiencia visual. En el bien entendido –premonición del principio de indeterminación de Heisenberg– que toda experiencia modifica la realidad del objeto experimentado. Lo cual abre el camino –aunque sea pasando de lo sensorial a lo intelectual– para sucesivos movimientos como el expresionismo, el cubismo, etc. en los que no se trata ya tanto de reflejar la realidad cuanto *la idea* de realidad que posee el artista. Más todavía –y sigue la premonición de la física cuántica–, donde es la misma realidad la que nace con el experimento. (De hecho, en la historia del pensamiento occidental, ya desde Winckelman y Herder, el arte deja de entenderse como copia de la naturaleza y pasa a ser creador de realidad).

Nada de extraño tiene entonces que podamos escuchar a conocidos pintores remitiéndose a la ciencia, y en especial a la física cuántica, como marco intelectual e, incluso, fuente de inspiración. Lo cual, por su parte, no es un gesto de pedantería sino genuina comprensión de que si hubo una época en que el arte iba por delante de la ciencia, hoy la situación se ha invertido.

En todo caso, es la totalidad de la cultura la que permanentemente está en juego y se renueva. Hoy procede, incluso, elaborar un nuevo concepto de los "textos sagrados" que no hay que ir a buscar donde las fuentes están ya secas. Por ejemplo, ¿llegará algún día en que algún Sumo Pontífice de la Iglesia Católica escriba algo verdaderamente *inspirado*, algo real, sin esos horribles amaneramientos de los documentos

oficiales? No parece probable, y tampoco hace falta. Los verdaderos "textos sagrados" de nuestra tradición son, desde hace siglos, los de los grandes autores. Dante y Shakespeare, por ejemplo. Pero también Victoria, Bach, Haendel, Beethoven. Y Giotto, Fra Angelico, Rembrandt. Y Arquímedes, Pascal, Newton, Darwin, Einstein, Heisenberg. Y Paul Celan y Bela Bartok. Etcétera, etcétera. Todos ellos son "autores sagrados". Durante milenios, la lógica de Aristóteles y la geometría de Euclides han sido, literalmente, "textos canónicos". La Física Cuántica es un monumento no menos inspirado que La Biblia. Ni menos ambiguo. Escribe el científico Arthur I. Miller: «Como una gran obra literaria, la teoría cuántica está abierta a multitud de interpretaciones».

Se equivocan pues quienes oponen la ciencia a los textos sagrados, o la ciencia al arte. Respetando los correspondientes ámbitos de autonomía, todo forma parte de un mismo prodigioso forcejeo. La persecución de lo real. Que en cierto modo es también la persecución de lo absoluto. Lo absoluto que se presiente, aunque sea inaccesible. Lo absoluto que, por cierto, es mucho más profundo e indigerible que las versiones edulcoradas de una cierta tradición. La misma Biblia, gran documento literario, abunda en pasajes cuasi blasfemos, protestas por lo absurdo de la condición humana que pueden competir con las doctrinas más heterodoxas.

Ciertamente, la fusión de saberes como en el Renacimiento ya no es posible. La montaña de la especialización es demasiado alta. Ahora bien, cabe hacer que los diferentes saberes "comuniquen". Comuniquen sin "reducirse" los unos a los otros. Es el meollo de lo que Edgar Morin ha llamado "transdisciplinariedad", la que, sin buscar un principio unitario de todos los conocimientos (lo cual también sería reduccionismo), aspira a una comunicación entre las disciplinas sobre la base de un pensamiento "complejo". Ni todo es físi-

ca, ni todo es biología, ni todo es sociología, ni todo es antropología; pero cabe enlazar estas áreas cibernéticamente. ¿Enciclopedismo? Más bien puesta en *ciclo* del bucle físico/biológico/social/antropológico. Ello es que las grandes preguntas se renuevan, el tema de la condición humana está en juego, y la permeabilidad entre ciencias, artes y letras se convierte en una exigencia central de nuestro tiempo.

PRÓLOGO:
LOS NUEVOS HUMANISTAS

JOHN BROCKMAN

En 1991, en un artículo titulado "The Emerging Third Culture" [El nacimiento de la tercera cultura], planteé el siguiente argumento:

> En estos últimos años, el terreno de juego de la vida intelectual americana ha experimentado un cambio, y el intelectual tradicional va quedando cada vez más relegado. Una educación al estilo de los años cincuenta, basada en Freud, Marx y el modernismo, no es base cultural suficiente para el ser pensante de hoy en día. Es más, los intelectuales americanos tradicionales son, en cierto sentido, cada vez más reaccionarios, y con frecuencia se jactan (contra toda lógica) de su ignorancia sobre infinidad de logros intelectuales verdaderamente significativos de nuestro tiempo. Debido a su desprecio por la ciencia, su cultura carece a menudo de todo empirismo: utiliza su propia jerga; en aislamiento se ocupa de sus propios asuntos internos, y su característica fundamental son sus comentarios de comentarios, que van girando en una espiral interminable hasta perder de vista el mundo real.

Doce años después, esa cultura fosilizada ha sido reemplazada esencialmente por la "tercera cultura" que daba títu-

lo al ensayo, y que hace referencia a C.P. Snow y su célebre división del mundo del pensamiento en dos culturas: la del intelectual de letras y la del científico. Esta nueva cultura está constituida por aquellos científicos y pensadores del mundo empírico que, a través de sus investigaciones y escritos descriptivos, han ocupado el lugar del intelectual tradicional gracias a haber empezado a revelar de forma clara el sentido último de nuestras vidas, redefiniendo quiénes somos y lo que somos.

Los científicos de la tercera cultura no sólo se mantienen mutuamente al día e intercambian ideas unos con otros, sino que lo hacen también, a través de sus libros, con un público informado, de reciente aparición. Con la atención puesta en el mundo real, estos científicos nos han introducido en uno de los períodos de actividad intelectual más deslumbrantes de la historia de la humanidad. Los logros de la tercera cultura no son las disputas tangenciales de una jerarquía de mandarines pendencieros, sino que afectan a las vidas de todos los que habitamos este planeta. El nacimiento de esta nueva cultura es indicio de una gran hambre intelectual, de un anhelo de acceder a las importantes ideas nuevas que marcan nuestro momento histórico: los revolucionarios descubrimientos de la biología molecular, la ingeniería genética, la nanotecnología, la inteligencia artificial, la vida artificial, la teoría del caos, el paralelismo masivo, las redes neuronales, el universo inflacionario, los fractales, los sistemas adaptativos complejos, la lingüística, las supercuerdas, la biodiversidad, el genoma humano, los sistemas expertos, el equilibrio puntuado, los autómatas celulares, la lógica difusa, la realidad virtual, el ciberespacio y las máquinas *teraflop*. Entre otros.

EL HUMANISMO Y EL TODO INTELECTUAL

En torno al siglo XV, la palabra "humanismo" coincidía con la idea de un todo intelectual. Cualquier noble florentino sabía que leer a Dante pero a la vez ignorar la ciencia era un disparate. Leonardo da Vinci fue un gran artista, un gran científico y un gran tecnólogo; Miguel Ángel fue un artista e ingeniero aún más extraordinario. Estos hombres eran intelectualmente gigantes holísticos; para ellos, la idea de abrazar el humanismo y vivir a un tiempo en la ignorancia de los últimos logros científicos y tecnológicos hubiera sido incomprensible. Ha llegado la hora de restablecer la definición holística.

En el siglo XX, un período de formidable progreso científico, en vez de conceder un lugar a la ciencia y a la tecnología en el centro del mundo intelectual –de dar a la erudición un significado unitario, que incluyera la ciencia y la tecnología además de la literatura y el arte–, la cultura oficial las desterró. Los estudiosos de las humanidades consideraron que la ciencia y la tecnología eran actividades de carácter técnico y restringido; como consecuencia, las universidades de elite excluyeron discretamente la ciencia de los planes de estudio universitarios de humanidades, al igual que de las mentes de muchos jóvenes, que, como la nueva clase académica dirigente, se automarginaron hasta tal punto que perdieron toda posibilidad de contacto directo con el campo de acción.

Demasiado a menudo, el debate en el ámbito académico tiende a centrarse en cuestiones tales como quién era o no era estalinista en 1937, o cómo se dispuso el alojamiento de los miembros del grupo de Bloomsbury un fin de semana a principios del siglo XX. Con esto no quiero dar a entender que estudiar historia sea una pérdida de tiempo: la historia explica nuestros orígenes y nos evita el trabajo de tener que reinventar la rueda. Ahora bien, la pregunta es: ¿historia de qué? ¿Que-

remos que el centro de la cultura se base en un sistema cerrado, en un proceso de inserción-eliminación de textos, sin ningún contacto empírico con el mundo real? Uno no puede por menos que maravillarse ante, por ejemplo, críticos de arte que no saben nada sobre percepción visual; ante críticos literarios, "construccionistas sociales", que carecen del menor interés en los descubrimientos universales documentados por los antropólogos acerca del ser humano; ante opositores a los alimentos transgénicos, a los aditivos y a los residuos de los pesticidas que tienen un total desconocimiento de genética y biología evolutiva.

PESIMISMO CULTURAL FRENTE A OPTIMISMO CIENTÍFICO

Se puede establecer una distinción fundamental entre la literatura de la ciencia y la de aquellas disciplinas cuyos temas son autorreferenciales y, a menudo, meras exégesis de pensadores anteriores. A diferencia de esas disciplinas en las que no existen expectativas de progreso sistemático y en las que uno reflexiona sobre las ideas de otros y las recicla, la ciencia –en sus diversos campos– plantea cada vez más y mejores preguntas, y mejor formuladas. Son preguntas enunciadas para suscitar respuestas; y cuando encuentra las respuestas, la ciencia sigue adelante. Mientras tanto, el estamento humanista tradicional continúa con su exhaustiva hermenéutica insular, sumida en el pesimismo cultural, aferrándose a su particular perspectiva desesperanzada de los acontecimientos mundiales.

«Vivimos en una era en la que el pesimismo se ha convertido en lo normal», escribe Arthur Herman en *The Idea of Decline in Western History* [*La idea de decadencia en la histo-*

ria occidental]. Herman, coordinador del Programa Western Civilization en la institución Smithsonian, explica que el declive de Occidente, la visión occidental de que la nuestra es una "sociedad enferma", ha pasado a ser el tema dominante del discurso intelectual, hasta el punto de que la idea misma de civilización ha cambiado. Continúa diciendo:

> Este nuevo orden puede tomar la forma de la utopía medioambiental radical de Unabomber; o puede también concretarse en el superhombre de Nietzsche, en el nacionalsocialismo ario de Hitler, en la utópica unión de tecnología y Eros de Marcuse, o en el *fellahin* revolucionario de Frantz Fanon. Sus mensajeros pueden ser los ecologistas "amigos de la Tierra", las multiculturalistas "personas de color", las feministas radicales Nuevas Amazonas, o los Nuevos Hombres de Robert Bly. La forma concreta del nuevo orden variará según los gustos; no obstante, su virtud más destacada será su carácter no, o incluso anti, occidental. En última instancia, lo que al pesimista cultural le importa no es tanto lo que se va a crear como lo que se va a destruir, y que es básicamente una sola cosa: nuestra sociedad moderna "enferma" [...] La desesperanza y la duda sembradas se han vuelto tan omnipresentes que las aceptamos como postura intelectual indiscutible, aun cuando ésta se halle en directa contradicción con nuestra propia realidad.

Un elemento clave de este pesimismo cultural es la creencia en el mito del "buen salvaje": es decir que, antes de que existieran la ciencia y la tecnología, la gente vivía en ecológica armonía y felicidad. La realidad es bien contraria. Que el cambio más trascendente continúe siendo el ritmo del cambio resultará probablemente difícil de asimilar si uno sigue mirando el mundo a través de los ojos de Spengler o de Nietzs-

che. En su devoción casi religiosa a una visión pesimista del mundo, los humanistas académicos han creado una cultura dominada por el culto a corrientes de pensamiento pretéritas que se vuelven contra sí mismas y rotan en un ciclo interminable. ¿Cuántas veces al ver el nombre de un icono del humanismo académico en el artículo de un periódico o revista no hemos dejado inmediatamente de leer? Uno ya sabe lo que va a decir. ¿Para qué perder el tiempo?

Como contrabalanza a este pesimismo cultural, consideremos el doblemente optimista espíritu científico.

En primer lugar, cuanto más se hace en el campo de la ciencia, más posibilidades hay de hacer. Los científicos obtienen y procesan constantemente nueva información. Ésta es la realidad de la ley de Moore: del mismo modo exactamente que la capacidad procesadora de los ordenadores se ha duplicado cada dieciocho meses durante los últimos veinte años, los científicos también obtienen información de un modo exponencial. Así que no pueden evitar ser optimistas.

Y en segundo lugar, gran parte de la nueva información consiste, bien en buenas noticias, o bien en noticias que pueden llegar a ser buenas gracias a un conocimiento cada vez más penetrante y a unas herramientas y técnicas cada vez más eficaces y potentes.

Los científicos debaten continuamente, y el punto de verificación es la realidad. Quizá sus egos sean tan colosales como los de los icónicos representantes de las humanidades académicas, pero su forma de lidiar con ese orgullo desmedido es muy distinta. En cualquier momento un argumento puede zarandearlos, porque trabajan en un mundo empírico, de hechos, un mundo basado en la realidad. No tienen posturas fijas, inamovibles; son a la vez creadores y críticos de la empresa que llevan a cabo en común. Las ideas surgen de ellos, y son ellos quienes ponen en tela de juicio las respectivas ideas. A través

del proceso de creatividad, crítica y debate, deciden qué ideas es necesario erradicar y cuáles pasan a formar parte del consenso que conduce al siguiente nivel de descubrimiento. A diferencia de los academicistas de humanidades, que hablan unos acerca de otros, los científicos hablan del universo. Es más, no hay mucha disparidad entre el cosmólogo que intenta comprender el mundo físico mediante la investigación del origen de átomos, estrellas y galaxias y el biólogo evolutivo que trata de comprender cómo han surgido los sistemas complejos a partir de factores inicialmente muy simples, o de encontrar pautas en la naturaleza. El trabajo experimental de ambos conlleva la misma mezcla de observación, modelado teórico, simulación computarizada, etcétera, al igual que sucede en la mayoría de los campos científicos. Los mundos de la ciencia son convergentes, pues sus disciplinas comparten un único marco de referencia.

La ciencia se halla aún prácticamente en sus comienzos. A medida que avanza y gana terreno, se amplía y aclara el horizonte. Esos avances han cambiado nuestra forma de ver el lugar que ocupamos en la naturaleza. La idea de que somos una parte integrante de este universo –un universo gobernado por leyes físicas y matemáticas con las que nuestros cerebros están en sintonía y que son capaces de comprender– nos da una nueva perspectiva de nuestro lugar en el desarrollo de la historia natural. Los descubrimientos de la astronomía y la cosmología nos han hecho darnos cuenta de que estamos todavía muy cerca del principio. La historia de la creación se ha expandido enormemente: desde un alcance retrospectivo de 6.000 años, hasta los 13.700 millones de años que contempla la cosmología del Big Bang. Pero el futuro se ha expandido más aún; quizá hasta el infinito. En el siglo XVII, la gente no sólo creía en ese reducido pasado, sino que pensaba además que la historia estaba próxima a su fin: se acercaba el Apoca-

lipsis. Haber descubierto que el tiempo bien podría ser interminable nos ofrece una perspectiva nueva de la especie humana: la de que ésta no sea en ningún sentido la culminación, sino quizá sólo una etapa temprana en el proceso evolutivo. Este concepto es resultado de la observación y el análisis minuciosos, de un pensar basado en la ciencia, y nos permite ver que la vida desempeña un papel todavía mucho más importante en el futuro del universo.

Hay alentadores indicios de que la tercera cultura incluye en este momento a eruditos de las humanidades que piensan del mismo modo que los científicos. Al igual que sus colegas del ámbito de las ciencias, creen que hay un mundo real y que su labor es comprenderlo y explicarlo. Examinan sus ideas en función de la coherencia lógica, de la capacidad explicativa y la conformidad con los hechos empíricos. No se adhieren al dictamen de las autoridades intelectuales: están dispuestos a cuestionar las ideas de cualquiera y, como fruto de esos desafíos, crecen su comprensión y conocimiento. No es que limiten las humanidades a una serie de principios biológicos y físicos, pero creen firmemente que el arte, la literatura, la historia y la política –todo el repertorio de intereses humanistas– necesitan tomar en consideración el campo de la ciencia.

Que las conexiones existen es indudable: nuestras artes, nuestra filosofía y nuestra literatura son producto de la interacción de las mentes humanas, y la mente humana es producto del cerebro, que está en parte organizado por el genoma humano y ha ido desarrollándose a través de los procesos físicos de la evolución. Al igual que los científicos, los estudiosos de las humanidades que se apoyan en una base científica son intelectualmente eclécticos; buscan sus ideas en una diversidad de fuentes, y adoptan aquellas que demuestran ser válidas, más que trabajar dentro de un "sistema" o "escuela". Como tales, no son eruditos marxistas, eruditos freudianos o eruditos del ca-

tolicismo. Conocen la ciencia, piensan como científicos, y se comunican fácilmente con ellos; su principal diferencia con los científicos son los temas sobre los que escriben, no su estilo intelectual. Para los estudiosos de las humanidades realmente serios, el pensar basado en la ciencia forma ahora parte de la cultura pública.

En pocas palabras, hay algo radicalmente nuevo en el ambiente: nuevos modos de entender los sistemas físicos, nuevas formas de pensar en el pensamiento que ponen en tela de juicio muchos de los supuestos básicos que hasta ahora dábamos por hechos. Hay una biología realista de la mente y unos avances de la física, de la tecnología informática, la genética, la neurobiología, la ingeniería y la química de los materiales que cuestionan todas ellas los supuestos fundamentales sobre quiénes y qué somos, sobre lo que significa ser humano. Las artes y las ciencias han empezado a unirse de nuevo en una sola cultura: la tercera cultura. Aquellos que participan en esta labor, desde uno y otro lado de la vieja línea divisoria de C.P. Snow, se encuentran hoy día en el centro de la acción intelectual. Ellos son los nuevos humanistas.

El nuevo humanismo es una exploración de este nuevo panorama intelectual. En ella, sigo de cerca las revolucionarias investigaciones e ideas de pensadores clave de diversos campos, tales como la informática, la cosmología, la cognición y la biología evolutiva, que debaten unos con otros, que aprenden unos de otros, y que aplican lo que aprenden de maneras innovadoras. Son la bióloga evolutiva Helena Cronin, el filósofo Daniel C. Dennett, el biogeógrafo Jared Diamond, el tecnólogo Ray Kurzweil, el antropólogo biológico Richard Wrangham, los científicos informáticos Rodney Brooks, David Gelernter, Jaron Lanier, Marvin Minsky, Hans Mo-

ravec y Jordan B. Pollack; los científicos cognitivos Andy Clark y Marc D. Hauser; los psicólogos Stephen M. Kosslyn y Steven Pinker, y los físicos David Deutsch, Alan Guth, Seth Lloyd, Lisa Randall, Martin Rees, Lee Smolin y Paul Steinhardt. *El nuevo humanismo* intenta hacer evidente una revolución que es ya un hecho, pues los debates que aquí salen a la luz definirán las próximas décadas de pensamiento científico.

La selección de científicos incluidos en este libro dista mucho, obviamente, de ser exhaustiva. Con algunos de ellos colaboro profesionalmente: son clientes de mi agencia literaria; otros no lo son. (En realidad, sólo un pequeño porcentaje de los científicos a los que represento está incluida aquí.) Puede decirse que la selección se hizo sola, sin proponérmelo, y tiene mucho que ver con mis intereses científicos personales. La mayoría de los capítulos están basados en entrevistas que hice; los artículos restantes, de David Gelernter, Hans Moravec, Jaron Lanier, Andy Clark y Jared Diamond, han aparecido todos publicados en *Edge* (*www.edge.org*), sitio Web que creé en 1997 y que está dedicado a los debates que mantienen los científicos en las fronteras de sus respectivas disciplinas.

El origen de la comunidad *Edge* es una agrupación informal de científicos y otros pensadores empíricos, conocidos como Reality Club, a los que reuní a principios de los años ochenta. Los miembros del club eran individuos acostumbrados a crear su propia realidad y a rechazar una realidad artificial, arrogada; eran (y son) personas que están en el mundo y hacen cosas, en vez de hablar sobre ellas. Al principio, el Reality Club celebraba sus reuniones en restaurantes chinos, áticos de artistas, museos, salas de estar, y en los salones de juntas de la Universidad Rockefeller, de la Academia de Ciencias de Nueva York y de varias compañías bancarias de in-

versiones, entre otros locales. *Edge* es el vástago del Reality Club, y fue establecido como fundación sin fines lucrativos en 1988. Ahora ha migrado a Internet. En él es posible encontrar a algunas de las mentes más lúcidas del momento, que sacan sus ideas al ruedo con la viva esperanza de que sean desafiadas. La revista *The New Scientist* ha calificado este sitio Web de «impresionante por su alcance» y lo ha aclamado por formular «importantes, profundas y ambiciosas preguntas: preguntas que denotan que finalmente la ciencia ha empezado a introducirse lentamente en el ámbito de la filosofía y la religión».

Unos pocos de entre los colaboradores de *Edge* son autores con gran éxito de ventas, o personas al menos conocidas en la cultura de masas. La mayoría no lo son. *Edge* alienta el trabajo que se realiza en los perímetros de nuestra cultura y la investigación de ideas que se hallan todavía en fase embrionaria. El lema de la comunidad es: «Para llegar al límite del conocimiento del mundo, busca las mentes más complejas y claras, ponlas juntas en la misma habitación, y pídeles que se hagan entre sí las mismas preguntas que se hacen a sí mismas». *Edge* es un punto de vista, más que un mero grupo de personas. Sus colaboradores concurren en las fronteras de sus áreas de conocimiento respectivas, y responden enérgicamente a los comentarios, críticas e intuitivas reflexiones de sus colegas. La revista *Wired* definió en una ocasión a *Edge* como «Lista de celebridades: [...] recuerda al Círculo Vicioso de Dorothy Parker, aunque sin la comida y el alcohol [...] Es una formación excepcional, debido en parte a quienes componen la lista: Richard Dawkins, Freeman Dyson, David Gelernter, Nathan Myhrvold y Naomi Wolf, por nombrar sólo a unos pocos». Aunque *Edge* es un grupo muy distinto de otras asociaciones como la Mesa Redonda del Algonquin, los Apostles, o el Grupo de Bloomsbury, sí tiene el mismo espíritu de

aventura intelectual. Quizá con quien guarde mayor paralelismo sea con la dieciochesca Lunar Society de Birmingham, un círculo informal compuesto por eminentes figuras culturales de la era industrial incipiente –tales como James Watt, Erasmus Darwin, Josiah Wedgwood, Joseph Priestly, Matthew Boulton y William Withering–, pues, de modo semejante, la comunidad *Edge* agrupa a aquellos que exploran los temas importantes de la era postindustrial. *Edge* ha publicado las obras de una gran variedad de representantes de las artes y de las ciencias: los estudios de la antropóloga cultural Mary Catherine Bateson sobre cómo salvar las distancias culturales; del biólogo evolucionista Richard Dawkins sobre la visión de la ciencia que tiene el público; del físico Freeman Dyson y el futuro último de la vida en el universo; del músico Brian Eno y la creación de valores culturales; del psicólogo Howard Gardner y la reforma educativa; del biólogo Stuart Kauffman sobre el tiempo en la cosmología cuántica; de la psicóloga Judith Rich Harris sobre cómo se forma la personalidad.

En las entrevistas y conversaciones que presento a continuación, como editor me he tomado la libertad de reproducir las grabaciones en forma de ensayo. Consciente de que las opiniones de quienes participan en *Edge* serán de mucho mayor interés para el lector que mis ideas sobre el área que es especialidad de cada uno de ellos, he dejado mis anotaciones (y preguntas) fuera del texto. Debo decir, no obstante, que aunque los entrevistados han leído, y en algunos casos corregido, la transcripción de sus palabras, estos capítulos no intentan en modo alguno ser representativos de sus propios escritos. Para conocerlos, el lector debe leer sus respectivas obras, enumeradas en el apéndice "Lecturas recomendadas".

Cuando mi artículo sobre "Los nuevos humanistas" apareció en *Edge* en abril de 2002, recabó un número récord de

respuestas –incluida la vehemente refutación ocasional– por parte de los miembros de la lista de correo de *Edge*. El epílogo contiene una muestra de este mordaz tipo de comentario, escrito por algunos de los nuevos humanistas mismos.

Nueva York, junio 2003

Parte I:

HOMO SAPIENS

NUEVA SÍNTESIS CIENTÍFICA DE LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD

JARED DIAMOND

¿Por qué ha sido tan diferente el ritmo de la evolución humana en los distintos continentes durante los últimos 13.000 años?... Los historiadores suelen huir de este tema como de la peste, a causa de sus aparentes connotaciones racistas. Mucha gente, o incluso la mayoría de la gente, da por sentado que la respuesta implica diferencias biológicas del coeficiente intelectual medio, CI, de unos y otros pueblos del mundo, aun cuando de hecho no hay ninguna prueba de que dichas diferencias de CI existan... En caso de que el hedor del racismo le haga a usted sentirse todavía incómodo ante la idea de explorar este tema, simplemente reflexione acerca de la razón oculta por la que tanta gente acepta explicaciones racistas del patrón general de la historia: no tenemos una explicación alternativa convincente. Hasta que la tengamos, la falta de opciones hará que las teorías racistas sigan siendo el principal polo de atracción. Y eso nos deja con una gran laguna moral, lo cual constituye la más poderosa razón para abordar este tema tan escabroso.

JARED DIAMOND es profesor de geografía en la Universidad de California, en Los Ángeles (UCLA). Le fue concedida una beca MacArthur de investigación, y ha sido galardonado con la National Medal of Science. Es autor de *The Third Chimpanzee* [*El tercer chimpancé*] (que obtuvo el British Science Book Prize y el Book Prize del *Los Angeles Times*) y ganador del Premio Pulitzer con *Guns, Germs, and Steel* [*Armas, gérmenes y acero*].

Me he asignado la modesta tarea de intentar explicar el patrón general de la historia de la humanidad en todos los continentes durante los últimos 13.000 años. ¿Por qué siguió la historia cursos de evolución tan distintos para los pueblos de los distintos continentes? Éste es un problema que me ha fascinado durante mucho tiempo. Pero ahora, gracias a los recientes avances en muchos campos aparentemente alejados de la historia –tales como la biología molecular, la genética vegetal y animal, la biogeografía, la arqueología y la lingüística– es el momento propicio para hacer una nueva síntesis.

Como todos sabemos, los euroasiáticos, y especialmente los pueblos de Europa y del este de Asia, se han extendido por el globo terráqueo y han dominado el mundo moderno en cuanto a riqueza y poder. Otros pueblos –entre ellos la mayoría de los pueblos de África– sobrevivieron a la dominación europea y se han liberado de ella, pero en cuanto a riqueza y

poder continúan a la zaga. Y hay todavía otros pueblos, entre ellos los habitantes indígenas de Australia, de las Américas y del sur de África, que ni siquiera son ya dueños de sus propias tierras, y que han sido diezmados, subyugados o exterminados a manos de los colonialistas europeos. ¿Por qué tomó la historia ese rumbo, en lugar del contrario? ¿Por qué no fueron los nativos americanos, africanos y los aborígenes australianos quienes conquistaron o exterminaron a europeos y asiáticos?

Esta crucial pregunta puede llevarse fácilmente un paso más atrás. Para el año 1500, fecha aproximada en que se inició la expansión europea de ultramar, los pueblos de los distintos continentes diferían ya mucho entre sí en tecnología y organización política. Mientras gran parte de Eurasia y del norte de África estaba ocupada por estados e imperios que vivían en la Edad de Hierro –algunos incluso muy próximos a la industrialización–, dos pueblos indígenas americanos, los incas y los aztecas, gobernaban imperios que utilizaban herramientas de piedra y empezaban en aquellos momentos a experimentar con el bronce. Había algunas partes del África subsahariana divididas en pequeños estados nativos, que se encontraban también en la Edad de Hierro y estaban gobernados por jefes locales; pero todos los pueblos de Australia, Nueva Guinea y las islas de Pacífico, al igual que muchos pueblos de las Américas y del África subsahariana, seguían siendo ganaderos, o incluso cazadores y recolectores aún, y empleaban herramientas de piedra.

Es obvio que aquellas diferencias existentes en el año 1500 fueron la causa inmediata de las desigualdades del mundo moderno: los imperios que disponían de armas de hierro conquistaron y exterminaron a las tribus que utilizaban la piedra únicamente. Pero ¿cómo evolucionó el mundo para que en el año 1500 fuera aquélla la situación?

También esta pregunta puede llevarse fácilmente un paso más atrás, con la ayuda de la historia escrita y los descubrimientos arqueológicos. Hasta el final de la última Glaciación, alrededor del año -11000, todos los seres humanos de todos los continentes eran todavía cazadores-recolectores y vivían en la Edad de Piedra. Fue el diferente ritmo de desarrollo de los distintos continentes desde el año –11000 hasta el 1500 el que produjo las desigualdades existentes en esta última fecha. Mientras los aborígenes australianos y muchos pueblos nativos de América continuaron siendo cazadores-recolectores y viviendo en la Edad de piedra, la mayoría de los pueblos europeos y muchos pueblos de las Américas y del África subsahariana desarrollaron progresivamente la agricultura, la ganadería y la metalurgia, así como una compleja organización política. Algunas partes de Eurasia, y una pequeña parte de las Américas, desarrollaron además una escritura indígena. Pero cada uno de estos progresos apareció antes en Eurasia que en ningún otro lugar.

Y después de leer todo esto, podemos ahora expresar de otra manera nuestra pregunta sobre la evolución de las desigualdades del mundo moderno. La pregunta sería: ¿por qué ha sido tan diferente el ritmo de la evolución humana en los distintos continentes durante los últimos 13.000 años? Esa diferencia de ritmos constituye el patrón más global de la historia, el mayor problema no resuelto de la historia, y el tema sobre el que trata este artículo.

Los historiadores suelen huir de este tema como de la peste, a causa de sus aparentes connotaciones racistas. Mucha gente, o incluso la mayoría de la gente, da por sentado que la respuesta implica diferencias biológicas del coeficiente intelectual medio, CI, de unos y otros pueblos del mundo, aun cuando de hecho no hay ninguna prueba de que dichas diferencias de CI existan. Incluso el formular la pregunta de por qué los distin-

tos pueblos tuvieron una historia distinta, a muchos nos resulta monstruosa, pues parece querer justificar lo ocurrido en la historia. La realidad es que estudiamos las injusticias de la historia por la misma razón que estudiamos el genocidio, y por la misma razón que los psicólogos estudian las mentes de los asesinos y los violadores: no para justificar la historia, el genocidio, el asesinato y la violación, sino para comprender cómo llegan a ocurrir actos tan abominables, y luego utilizar esa comprensión para evitar que sucedan otra vez. En caso de que el hedor del racismo le haga a usted sentirse todavía incómodo ante la idea de explorar este tema, simplemente reflexione acerca de la razón oculta por la que tanta gente acepta explicaciones racistas del patrón general de la historia: no tenemos una explicación alternativa convincente. Hasta que la tengamos, la falta de opciones hará que las teorías racistas sigan siendo el principal polo de atracción. Y eso nos deja con una gran laguna moral, lo cual constituye la más poderosa razón para abordar este tema tan escabroso.

Vayamos continente por continente. Como primera comparación continental, examinemos la colisión del Viejo y el Nuevo Mundo que empezó con el viaje de Cristóbal Colón en 1492, ya que los factores inmediatos que intervinieron en el desenlace los comprendemos bien. Y ahora les haré un resumen y una interpretación de la historia de Norteamérica, Sudamérica, Europa y Asia desde mi perspectiva de biogeógrafo y biólogo evolucionista (todo ello en diez minutos; dos por cada continente). Allá vamos:

La mayoría estamos familiarizados con los relatos de cómo unos pocos cientos de españoles a las órdenes de Cortés y Pizarro destruyeron los imperios azteca e inca, cuando la población de uno y otro imperio se contaba por decenas de millones. Estamos igualmente familiarizados con los horrendos detalles de cómo otros europeos conquistaron otras partes del

Nuevo Mundo. El resultado fue que el Nuevo Mundo pronto estuvo poblado y dominado principalmente. por los europeos que allí se establecieron, mientras que la población indígena americana decayó drásticamente del nivel que tenía en 1492. ¿Por qué ocurrieron las cosas de esta manera? ¿Por qué, en vez de esto, no fueron los emperadores Moctezuma o Atahualpa quienes acaudillaron a los aztecas y a los incas a la conquista de Europa?

Las razones inmediatas son obvias. Los invasores europeos tenían espadas de acero, armas de fuego y caballos, en tanto que los indígenas americanos disponían sólo de armas de piedra o de madera y no tenían animales que se pudieran montar. Aquellas ventajas militares hicieron posible que, una y otra vez, tropas de apenas unas docenas de españoles a caballo derrotaran a los ejércitos indios donde los guerreros se contaban por miles.

Sin embargo, las espadas de acero, las armas de fuego y los caballos no fueron los únicos factores directos que propiciaron la conquista europea del Nuevo Mundo. Las enfermedades infecciosas que los europeos introdujeron, como la viruela o el sarampión, se extendieron de una tribu india a otra, mucho antes que a los mismos europeos, y acabaron con aproximadamente el 95% de la población india del Nuevo Mundo. Aquellas enfermedades eran endémicas de Europa, y los europeos habían tenido tiempo de desarrollar resistencia tanto genética como inmunológica a ellas, resistencia que inicialmente los indios no tenían. El papel que las enfermedades infecciosas tuvieron en la conquista del Nuevo Mundo se duplicaría en muchas otras partes del globo, como la Australia aborigen, el sur de África y numerosas islas del Pacífico.

Finalmente, hay aún otra serie de factores inmediatos que se han de tener en cuenta. ¿Cómo es que Pizarro y Cortés llegaron al Nuevo Mundo? Y ¿cómo es que lo hicieron an-

tes de que los conquistadores aztecas e incas pudieran llegar a Europa? Aquel desenlace dependió, en parte, de la tecnología, concretada en naves transoceánicas. Los europeos disponían de estas naves; los aztecas y los incas no. Además, las empresas de los europeos tenían el respaldo del poder político centralizado, lo cual hizo posible que España y otros países europeos construyeran y tripularan aquellos navíos. Igualmente crucial fue el papel que desempeñó la escritura europea, al permitir la rápida difusión de información detallada, que incluía mapas, rutas de navegación, e informes de exploradores anteriores redactados a su regreso a Europa para motivar a futuros exploradores.

Hasta el momento, hemos identificado una lista de factores inmediatos que influyeron en la colonización del Nuevo Mundo: básicamente, las naves, la organización política y la escritura que llevaron a los europeos a aquellas tierras; los gérmenes europeos, que diezmaron la población india antes de que ésta pudiera llegar al campo de batalla, y las armas de fuego, las espadas de acero y los caballos, que en el campo de batalla dieron a los europeos una clara ventaja. Bien, ahora tratemos de llevar más atrás aún la cadena de la causalidad. ¿Por qué fue marco el Viejo Mundo, y no el Nuevo, de estos avances que actuaron como factores decisivos? Teóricamente, hubieran podido ser los nativos americanos quienes primero fabricaran espadas de acero y armas de fuego, los primeros en tener naves, imperios transoceánicos y escritura, los primeros en montar animales domésticos más imponentes que los caballos, y en ser portadores de gérmenes más letales que los de la viruela.

De esta pregunta, la parte más fácil de contestar es la relacionada con los motivos de que los gérmenes más dañinos se desarrollaran en Eurasia. Es sorprendente que los indígenas americanos no desarrollaran ninguna enfermedad epidémica

devastadora que transmitir a los europeos, como contrapartida a las numerosas enfermedades epidémicas devastadoras que los indios recibieron del Viejo Mundo. Hay dos razones claras para este bárbaro desequilibrio: la primera es que nuestras habituales enfermedades epidémicas sólo pueden sustentarse a sí mismas allá donde existe una gran densidad de población concentrada en pueblos y ciudades, núcleos de población que aparecieron mucho antes en el Viejo Mundo que en el Nuevo. La segunda es que los estudios de microbios recientemente llevados a cabo por biólogos moleculares muestran que la mayoría de las enfermedades epidémicas humanas evolucionaron de enfermedades similares que habían proliferado en lugares de gran concentración de animales domésticos del Viejo Mundo, con los que teníamos contacto directo. El sarampión y la tuberculosis, por ejemplo, se desarrollaron a partir de enfermedades del ganado vacuno; la gripe, de una enfermedad padecida por los cerdos, y la viruela, posiblemente de una enfermedad de los camellos. En las Américas, en cambio, eran muy pocas las especies de animales nativos domesticadas que pudieran contagiar a los seres humanos este tipo de enfermedad.

Hagamos retroceder ahora la cadena de razonamientos un paso más atrás aún. ¿Por qué era mucho mayor el número de especies de animales domesticadas en Eurasia que en las Américas? Las Américas cuentan con más de mil especies nativas de mamíferos en estado salvaje, luego en principio uno podría suponer que aquellas tierras ofrecían abundante material inicial para la domesticación. El hecho es que sólo se ha logrado domesticar a una pequeñísima parte de las especies de mamíferos, debido a que la domesticación exige que el animal salvaje cumpla numerosos requisitos: ha de tener una dieta que los seres humanos puedan proporcionarle, un ritmo de crecimiento rápido, una buena disposición a procrear en

cautividad; debe ser dócil, estar habituado a una estructura social que conlleve un comportamiento sumiso ante animales más poderosos y seres humanos, y no debe ser propenso a sentir pánico al verse acorralado. Hace miles de años, los seres humanos domesticaron a todas las especies posibles de grandes mamíferos salvajes que se atenían a estos criterios y que valía la pena domesticar, y es curioso que, pese a los esfuerzos de la ciencia moderna, no haya habido ninguna adición significativa de animales domésticos en épocas recientes.

Eurasia acabó teniendo la mayor cantidad de especies animales domesticadas, en parte porque es la más extensa masa de tierra del mundo y ofrecía de entrada el mayor número de especies salvajes. Esa diferencia preexistente aumentó de un modo colosal hace 13.000 años, al final de la última glaciación, cuando la mayoría de las especies de grandes mamíferos de América del Norte y del Sur se extinguieron, quizá exterminadas por los primeros indios en llegar al continente. Como resultado, los nativos americanos heredaron muchas menos especies de grandes mamíferos salvajes que los eurasiáticos, y de entre ellos sólo la llama y la alpaca para poder domesticarlos. Las diferencias entre el Viejo y el Nuevo Mundo en cuanto a especies vegetales domesticadas, sobre todo cereales de semilla grande, son cualitativamente similares a las del caso de los mamíferos, aunque la diferencia no sea tan extrema.

Otra razón que explica la mayor diversidad local de plantas y animales domesticados en Eurasia es que el eje principal de Eurasia tiene dirección este-oeste, mientras que en las Américas el eje principal es norte-sur. El eje este-oeste eurasiático permitió que las especies domesticadas en una parte de Eurasia pudieran extenderse fácilmente miles de kilómetros dentro de una misma latitud y encontrar siempre el mismo clima y la misma cantidad de horas de luz diurna a los que ya se habían adaptado. Como consecuencia, las gallinas do-

mesticadas en el Sureste asiático y los cítricos cultivados en aquella área se extendieron rápidamente en dirección oeste hacia Europa; los caballos domesticados en Ucrania se expandieron con rapidez en dirección este hacia China, y las ovejas, cabras, vacas, el trigo y la cebada de la Media Luna de las Tierras Fértiles tuvieron una rápida expansión tanto hacia el este como hacia el oeste. Por el contrario, el eje norte-sur americano impidió que las especies domesticadas en un área pudieran extenderse mucho sin encontrarse pronto con climas y número de horas de luz diurna a los que no estaban adaptados. Resultado de esto fue que el pavo nunca pasó de Méjico, su lugar de domesticación, a los Andes; las llamas y las alpacas nunca pasaron de los Andes a Méjico, lo cual significó una absoluta ausencia de animales de rebaño en las civilizaciones indias de América Central y Norteamérica, y el maíz, desarrollado en el clima mejicano, necesitó miles de años para modificarse y aclimatarse a la breve estación de crecimiento, y a la duración cambiante de los días según las estaciones, de América del Norte.

La existencia de especies vegetales y animales domesticadas fue importante para Eurasia por diversas razones, además de la ya mencionada de permitir que los europeos desarrollaran microorganismos patógenos. Las zonas donde dichas especies crecen y habitan producen muchas más calorías por hectárea que los hábitat en estado salvaje, donde la mayoría de las especies no son comestibles para los seres humanos. Consecuencia de ello es que la densidad de población de los agricultores y pastores es entre 10 y 100 veces mayor que la de los cazadores-recolectores. Este hecho por sí solo basta para explicar por qué los agricultores y pastores de todas las partes del mundo han logrado expulsar a los cazadores-recolectores de aquellas tierras aptas para la agricultura o el pastoreo. Los animales domesticados revolucionaron el transpor-

te terrestre. Revolucionaron también la agricultura, al permitir al agricultor arar y abonar mucha más tierra de lo que su esfuerzo solo le hubiera permitido. Por otro lado, las sociedades cazadoras-recolectoras tienden a ser igualitarias y a no tener ningún tipo de organización política de nivel superior al del grupo o la tribu, mientras que el almacenamiento de los excedentes de comida resultantes de la agricultura favorece la creación de sociedades estratificadas, políticamente centralizadas y gobernadas por una elite. Estos excedentes de alimentos aceleraron asimismo el desarrollo de la tecnología, pues permitían mantener a artesanos que no producían sus propios alimentos y que, a cambio, podían dedicarse plenamente a desarrollar la metalurgia, la escritura, y la fabricación de espadas y armas de fuego.

Así pues, hemos empezado por identificar una serie de explicaciones inmediatas (armas de fuego, gérmenes, etcétera) de la conquista de las Américas llevada a cabo por los europeos; y me parece a mí que, en última instancia, estos factores inmediatos tienen mayormente su origen en la superior cantidad de plantas cultivadas, el muy superior número de animales domesticados y el eje este-oeste del Viejo Mundo. La cadena de causalidad ofrece una explicación muy directa de las ventajas que supusieron para el Viejo Mundo los caballos y los microorganismos patógenos. Pero de una manera más indirecta, la domesticación de plantas y animales reportó a Eurasia una ventajosa situación en cuanto a armas, espadas, naves transoceánicas, organización política y escritura, producto todas ellas de las grandes sociedades sedentarias, densamente pobladas y estratificadas, que hizo posible la agricultura.

Examinemos ahora si este esquema, derivado de la colisión de los europeos con los indígenas americanos, nos ayuda a comprender el patrón general de la historia de África, que me

dispongo a sintetizar en cinco minutos. Me concentraré en la historia del África subsahariana, ya que esta región estaba mucho más aislada de Eurasia, tanto por distancia como por clima, que el norte de África, cuya historia está íntimamente ligada a la historia de Eurasia. Allá vamos de nuevo.

Al igual que nos preguntábamos por qué había invadido Méjico Hernán Cortés antes de que Moctezuma tuviera ocasión de invadir Europa, podemos preguntarnos por qué colonizaron los europeos el África subsahariana antes de que los pobladores del África subsahariana pudieran colonizar Europa. Aunque los factores determinantes son los ya mencionados: armas, acero, naves, organización política y escritura, surge una vez más la pregunta de por qué estas armas, naves, etcétera, acabaron desarrollándose en Europa en lugar de hacerlo en el África subsahariana. Para quien estudia la evolución humana, esta cuestión resulta particularmente desconcertante, ya que la trayectoria evolutiva del ser humano comenzó en África millones de años antes que en Europa, e incluso es bastante posible que el anatómicamente moderno *Homo sapiens* no empezara a llegar a Europa procedente de África hasta hace tan sólo 50.000 años. Si el tiempo fuera un factor crucial en el desarrollo de las sociedades humanas, África hubiera debido disfrutar de una posición muy aventajada, estar a la cabeza de Europa.

Nuevamente, la realidad apunta de manera obvia a las diferencias biogeográficas en cuanto a disponibilidad de especies animales y vegetales domesticables. Si examinamos en primer lugar el caso de los animales, vemos con sorpresa que el único animal domesticado del África subsahariana fue un ave: la pintada. Todos los mamíferos domésticos africanos –vacas, ovejas, cabras, caballos, e incluso perros– llegaron al África subsahariana procedentes del norte: de Eurasia y el Norte de África. De entrada, nos extraña oír esto, puesto que en la actua-

lidad consideramos que África es el continente de los grandes mamíferos salvajes. El hecho, sin embargo, es que ninguna de las especies de grandes mamíferos salvajes africanos resultó posible de domesticar. Todas ellas fueron descalificadas por presentar uno u otro problema: bien una organización social poco idónea, una conducta indomable, bien un ritmo de crecimiento lento, etcétera. ¡Imaginen por un momento cuál hubiera podido ser el curso de la historia si los rinocerontes e hipopótamos africanos se hubieran prestado a la domesticación! De haber sido esto posible, los combatientes africanos a lomos de hipopótamos y rinocerontes habrían hecho picadillo a la caballería europea. Pero no pudo ser así.

En su lugar, como ya he mencionado, los animales de cría adoptados en África fueron especies euroasiáticas procedentes del norte. El largo eje africano, al igual que el de las Américas, tiene un sentido norte-sur en vez de este-oeste, y esto significó que los mamíferos domésticos se extendieron hacia el sur de África muy lentamente, puesto que debían adaptarse a diferentes zonas climáticas y diferentes enfermedades animales.

Los problemas que el eje norte-sur supuso para la expansión de las especies domesticadas de África fueron aún más desastrosos para los cultivos que para el ganado. Recordemos que los alimentos básicos del antiguo Egipto eran cultivos tales como el trigo y la cebada de la media Luna de las Tierras Fértiles y del Mediterráneo, que requieren las lluvias de invierno y variaciones estacionales de la duración de los días para su germinación. Estos cultivos no pudieron extenderse hacia el sur más allá de Etiopía, pues a partir de aquí las lluvias son estivales, y en cuanto al número de horas de luz diurna hay muy poca o ninguna variación de una estación a otra. De modo que el desarrollo de la agricultura en el área subsahariana tuvo que esperar a la domesticación de las es-

pecies vegetales originarias de África, como el sorgo y el mijo, que se adaptaron al verano de África Central y a una duración de los días relativamente constante. Resulta irónico que, por la misma razón, los cultivos de África Central no pudieran luego extenderse hacia el sur, a la zona de clima mediterráneo de Sudáfrica, donde una vez más prevalecían las lluvias de invierno y las grandes variaciones estacionales de horas de luz diurna. El avance hacia el sur de los agricultores africanos con cultivos de África Central se detenía en Natal; más allá de este punto dichos cultivos no daban fruto, lo cual tendría muy serias consecuencias para la historia reciente de Sudáfrica.

Resumiendo, el eje norte-sur y la escasez de especies de plantas silvestres y animales salvajes aptas para la domesticación fueron decisivos en la historia de África, al igual que lo fueron en la historia de la América indígena. Aunque los nativos africanos cultivaron algunas especies vegetales en el Sahel y Etiopía, así como en el oeste de África, la adquisición de animales domésticos útiles, procedentes del norte, sería mucho más tardía. La superioridad que ofrecían a los europeos sus armas de fuego, naves, organización política y escritura les permitió colonizar África en lugar de que los africanos colonizaran Europa.

Concluyamos ahora nuestro viaje relámpago alrededor del globo dedicando un par de minutos al último continente, Australia. Allá vamos de nuevo, por última vez:

Australia era el único continente que en la época moderna seguía habitado sólo por cazadores-recolectores. Esto hace de Australia la prueba crítica para cualquier teoría sobre las diferencias continentales de la evolución de las sociedades humanas. La Australia aborigen no conocía la agricultura ni el pastoreo, la escritura, los instrumentos de metal, ni orden político alguno de nivel superior al de la tribu o el grupo. És-

tas son, por supuesto, las razones por las que las armas y los gérmenes europeos destruyeron la sociedad aborigen australiana. Pero ¿por qué habían seguido siendo cazadores-recolectores todos los nativos australianos?

Hay tres razones obvias. En primer lugar, hasta el día de hoy ninguna especie animal nativa de Australia, y una sola especie vegetal, la macadamia, ha resultado apta para la domesticación. Sigue sin haber ningún canguro doméstico.

En segundo lugar, además de ser el continente más pequeño, la mayor parte de Australia, a causa de la escasez de lluvias y de productividad, puede ofrecer sustento únicamente a una población muy reducida; de ahí que el número de cazadores-recolectores australianos no superara los 300.000.

Por último, es el continente más aislado. La única relación exterior de los aborígenes australianos eran los contactos marítimos indirectos con los habitantes de Nueva Guinea e Indonesia.

Para hacernos una idea de la importancia que el reducido tamaño de la población y el aislamiento tuvieron en el ritmo de evolución de Australia, pensemos en la isla australiana de Tasmania, que estuvo habitada por la más extraordinaria sociedad humana del mundo moderno. Aun siendo una isla de modestas dimensiones, por el hecho de ocupar la posición más alejada dentro del más alejado de los continentes nos ha ayudado a despejar una gran incógnita sobre la evolución de todas las sociedades humanas. Tasmania está situada a 200 kilómetros al sureste de Australia. Cuando los europeos llegaron a ella por primera vez, en 1642, estaba habitada por 4.000 cazadores-recolectores que, si bien guardaban un parentesco con los australianos continentales, tenían la tecnología más simple de cuantas se habían encontrado en ninguna etnia reciente de la Tierra. A diferencia de los aborígenes de la Australia continental, los habitantes de Tasmania no sabían hacer fuego;

no conocían el boomerang, la lanzadera de jabalina –*atlatl*– ni el escudo; no tenían utensilios de hueso ni instrumentos especializados de piedra, ni tenían herramientas compuestas, como una cabeza de hacha montada sobre un mango; no sabían talar un árbol ni vaciar un tronco para fabricar una canoa; no conocían la costura, ni por tanto disponían de indumentaria cosida, a pesar de las nevadas del frío invierno tasmano, e increíblemente, aunque vivían mayormente en la costa, los tasmanos no pescaban ni comían pescado. ¿Qué dio lugar a estas enormes lagunas materiales en la cultura de Tasmania?

Encontramos la respuesta en el siguiente hecho. Tasmania había estado unida al sur de Australia continental cuando el nivel del mar era más bajo, durante el Pleistoceno; luego, hace 10.000 años, una subida del nivel del mar acabó con aquel puente de tierra. La gente había pasado a Tasmania decenas de miles de años atrás, cuando todavía formaba parte de Australia; pero una vez que el puente de tierra desapareció, los tasmanos no volvieron a tener absolutamente ningún contacto con los australianos continentales ni con ningún otro pueblo de la Tierra hasta que los europeos llegaron en 1642, ya que ni los tasmanos ni los australianos continentales disponían de embarcaciones capaces de cruzar el estrecho de 200 kilómetros que separaba Tasmania de Australia. La historia de Tasmania es por tanto el estudio de un aislamiento humano sin precedentes, salvo en la ciencia-ficción: concretamente, el aislamiento absoluto de cualquier otro ser humano durante 10.000 años. Tasmania tenía la más pequeña y más aislada población humana del mundo. Es obvio que si el volumen de población y el aislamiento ejercen alguna influencia en el crecimiento acumulativo de invenciones, Tasmania debía ser buena prueba de ello.

Si toda la tecnología que he mencionado, ausente de Tasmania pero presente en la Australia continental situada fren-

te a ella, fue invención de los australianos en el curso de los últimos 10.000 años, tenemos al menos la certeza de que la pequeña población de Tasmania no inventó por su parte similares técnicas ni utensilios. Lo asombroso es que los hallazgos arqueológicos muestran aún más: los tasmanos abandonaron, de hecho, algunas técnicas que habían traído consigo de Australia y que en la Australia continental siguieron empleándose. Los utensilios de hueso y la práctica de la pesca, por ejemplo, existían ambas en Tasmania en el momento en que el puente de tierra fue devorado por las aguas, y ambas habían desaparecido de Tasmania para el año –1500. Esto representa la pérdida de una tecnología muy valiosa, que hubiera permitido, por una parte, ahumar el pescado y tener así provisiones para el invierno, y por otra, fabricar agujas de hueso con las que confeccionar prendas de abrigo.

¿Cómo hemos de interpretar estas pérdidas culturales?

La única interpretación a la que yo encuentro sentido es la siguiente:

Primero, la tecnología ha de ser inventada o adoptada. Las sociedades humanas difieren unas de otras en cuanto a los múltiples factores independientes que influyen en su apertura a la innovación. De ahí que, cuanto mayor sea el volumen de la población y mayor el número de sociedades que habitan una isla o continente, mayor es la posibilidad de concebir cualquier invención y de que ésta sea adoptada en otras partes del territorio.

Segundo, en todas las sociedades –exceptuando las de Tasmania, totalmente aislada– la mayoría de las innovaciones tecnológicas que se difunden proceden del exterior en vez de tener origen local, luego es de suponer que la tecnología evolucionará con mayor rapidez en las sociedades que más estrecho contacto establezcan con otras sociedades exteriores.

Por último, no sólo es necesario adoptar la tecnología, sino mantenerla. Todas las sociedades atraviesan momentos en que, llevadas por una moda, adoptan temporalmente ciertas prácticas poco útiles o abandonan otras de considerable utilidad. Cada vez que tales tabúes, disparatados desde el punto de vista económico, surgen en un área en la que compiten diversas sociedades humanas, sólo algunas de ellas acogen el tabú en un determinado momento. Otras conservarán esa práctica de utilidad obvia, y bien competirán con las sociedades que la perdieron, o bien se mantendrán como modelo para que las sociedades en las que el tabú ha influido se arrepientan de su error y reanuden dicha práctica. De haber seguido los tasmanos en contacto con los australianos del continente, hubieran podido redescubrir el valor y la técnica de la pesca y de la fabricación de utensilios de hueso que habían perdido. Pero no había modo de que esto sucediera en completo aislamiento; y así, las pérdidas culturales de Tasmania se hicieron irreversibles.

En pocas palabras, el mensaje que podemos extraer de las diferencias entre la sociedad de Tasmania y la de Australia continental parece ser éste: en iguales condiciones, el ritmo de invención humana es más acelerado –y el de pérdida cultural, más lento– en aquellas áreas ocupadas por una diversidad de sociedades en competencia unas con otras, compuestas por un gran número de individuos, y en contacto con sociedades de otras áreas distintas. Si esta interpretación es correcta, puede que entonces su significación tenga un carácter mucho más amplio. Probablemente explica en parte por qué los aborígenes australianos, que habitaban el continente más pequeño y más aislado, permanecieron en la Edad de Piedra y siguieron siendo cazadores-recolectores mientras los pueblos de otros continentes adoptaban la agricultura y el metal. Es muy probable que ese mismo factor contribuyera a crear las

diferencias que ya he mencionado entre los agricultores del África subsahariana, los de las Américas con su extensión mucho mayor, y los de la todavía mucho más extensa Eurasia.

Naturalmente, hay en la historia del mundo muchos factores importantes que no he mencionado. Por ejemplo, he dicho poco o nada sobre la distribución de las plantas cultivables; sobre la forma precisa en que las complejas instituciones políticas y el desarrollo de la escritura, la tecnología y la religión organizada dependen de la agricultura y el pastoreo; sobre las fascinantes razones a que atienden las diferencias, dentro de Eurasia, entre China, la India, el Oriente Próximo y Europa, y sobre el efecto que han tenido en la historia multitud de individuos y de diferencias culturales que no guardan relación con el medio ambiente. Pero ha llegado la hora de sintetizar el significado general de este viaje relámpago por la historia de la humanidad, con su desigual distribución de armas y gérmenes.

El patrón general de la historia –concretamente, las diferencias entre las sociedades humanas en los distintos continentes– me parece a mí que puede atribuirse a las diferencias medioambientales entre unos continentes y otros, y no a diferencias biológicas entre las personas en sí. La disponibilidad de especies vegetales y animales salvajes que fueran aptas para la domesticación, y la facilidad con que esas especies pudieron extenderse sin encontrar climas inadecuados tuvo un papel decisivo en el diverso ritmo de aparición de la agricultura y la ganadería; aparición que, a su vez, contribuyó decisivamente al incremento en número de la población humana, de la densidad de población, y a los excedentes de alimentos; hechos todos ellos que, asimismo, influyeron de un modo crucial en el desarrollo de las enfermedades infecciosas, en la escritura, la tecnología y la organización política. Además, la historia de Tasmania y de Australia nos advierte de que las áreas dife-

renciadas y el aislamiento de los continentes, al determinar el que existan o no sociedades en competencia y el número de éstas, puede haber sido otro importante factor en el desarrollo humano.

Como biólogo que practica en el laboratorio una ciencia experimental, me doy cuenta de que algunos científicos quizá se inclinen a desechar estas interpretaciones históricas por considerarlas especulaciones indemostrables, ya que no se basan en experimentos replicados en el laboratorio. La misma objeción se podría hacer a la investigación de cualquiera de las ciencias relacionadas con la historia, como la astronomía, la biología evolutiva, la geología o la paleontología; objeción que puede aplicarse, desde luego, al campo de la historia en su totalidad y a la mayoría de las demás ciencias sociales. Ésa es la razón por la que incomoda un poco considerar la historia como una ciencia, y por lo que se la clasifica como ciencia social, lo cual viene a decir que no es del todo científica. Pero recordemos que la palabra "ciencia" no se deriva del término latino equivalente a "experimento reproducido en el laboratorio", sino de la palabra latina *scientia*, que significaba "conocimiento". En la ciencia buscamos conocimiento a través de cualquier metodología apropiada que esté a nuestro alcance. Hay muchos campos que nadie duda en considerar ciencia, pese a que hacer una reproducción experimental en el laboratorio sería inmoral, ilegal o imposible. No podemos manipular ciertas estrellas y mantener otras como patrón; no podemos originar y detener glaciaciones, y no podemos diseñar y hacer evolucionar experimentalmente a los dinosaurios. Sin embargo, podemos alcanzar una formidable comprensión en esos campos a través de otros métodos; lo cual significa que, sin duda, deberíamos ser capaces de comprender también la historia de la humanidad, puesto que la introspección y los manuscritos hallados nos permiten

intuir con mucha mayor claridad el comportamiento de los antiguos seres humanos que el de los antiguos dinosaurios. Por eso, soy optimista y creo que finalmente encontraremos explicaciones convincentes a estos patrones generales de la historia de la humanidad.

INTERPRETACIÓN BIOLÓGICA DE LA NATURALEZA HUMANA

STEVEN PINKER

Creo que existe entre los eruditos e intelectuales una teoría cuasirreligiosa que incluye tanto postulados empíricos sobre el funcionamiento de la mente humana como una serie de valores que la gente añade a esos postulados. La teoría tiene tres partes. La primera, la "tabla rasa", afirma que no hay tal cosa como el talento o el temperamento innatos, sino que es el entorno (la educación familiar, la cultura y la sociedad) lo que modela la mente por completo. La segunda es el mito del "buen salvaje", según el cual la maldad no es inherente a la persona, sino generada por unas instituciones sociales corruptas. Y la tercera, el "fantasma de la máquina", postula que la parte más importante de quienes somos es en cierto sentido independiente de nuestra biología, y por lo tanto nuestra capacidad de tener experiencias y hacer elecciones no puede explicarse con argumentos basados en nuestra estructura psicológica e historia evolutiva.

STEVEN PINKER, psicólogo investigador, ocupa la cátedra Peter de Florez del Departamento de Ciencias Cognitivas y del Cerebro en el MIT (Massachusetts Institute of Technology), y es autor de *Language Learnability and Language Development*; *Learnability and Cognition; The Language Instinct* [*El instinto del lenguaje*]; *How the Mind Works* [*Cómo funciona la* mente]; Words *and Rules*, y *The Blank Slate: The Modern Denial of Human Nature* [*La tabla rasa: la negación moderna de la naturaleza humana*].

¿Por qué arrastran tan pesado lastre político, moral y emocional las preguntas empíricas sobre el funcionamiento de la mente humana? ¿Por qué ve la gente peligrosas implicaciones en la idea de que la mente es producto del cerebro, de que el cerebro está organizado en parte por el genoma, y de que el genoma fue moldeado por la selección natural? Esta idea ha provocado manifestaciones, denuncias, ataques y comparaciones con el nazismo por parte de la derecha y de la izquierda, reacciones que perjudican tanto a la actuación cotidiana de la ciencia como a la valoración pública que se hace de ella. Sólo si examinamos la parcialidad política y moral oculta bajo nuestras reacciones a los descubrimientos, tendremos una ciencia más honesta a un ambiente intelectual menos temeroso.

Descubrir la verdad es aún más difícil si *a priori* vemos en ciertas hipótesis factuales la señal de "no tocar: peligro de

muerte". Un caso claro son las investigaciones sobre la crianza de los hijos. Cientos de estudios han precisado la relación que existe entre las aptitudes que éstos desarrollan y el comportamiento de sus padres. Los padres que hablan extensamente con sus hijos tienen niños con un lenguaje mucho más fluido; quienes les pegan, niños con inclinaciones violentas; aquellos que no son ni demasiado autoritarios ni demasiado tolerantes, niños equilibrados, etcétera. La mayor parte de la industria relacionada con la educación infantil, y mucha de la política gubernamental, utiliza estas correlaciones como base para aleccionar a los padres, y culpa a los padres cuando sus hijos no resultan como les hubiera gustado. Ahora bien, la correlación no implica causalidad. Los padres transmiten genes a sus hijos, además de costumbres y pautas, luego el hecho de que los hijos de padres habladores tengan un mayor dominio del lenguaje podría significar simplemente que los mismos genes que hicieron habladores a los padres han hecho comunicativos a los hijos. Hasta que esos estudios se realicen en niños adoptados, que no han recibido los genes de las personas que los educan, no sabremos si las correlaciones reflejan el resultado de la educación, el resultado de los genes comunes, o una mezcla de ambos. Sin embargo, generalmente, incluso la posibilidad de que esas correlaciones sean reflejo de unos genes comunes es tabú. En la psicología del desarrollo se considera una descortesía la sola mención de esa posibilidad, no hablemos ya de intentar verificarla.

La mayoría de los intelectuales de hoy sienten fobia hacia cualquier explicación sobre la mente que recurra a la genética. Temen cuatro cosas: en primer lugar, está el miedo a la desigualdad. El gran atractivo que tiene la doctrina de que la mente es una tabla rasa es el simple hecho matemático de que cero es igual a cero. Si todos empezamos en blanco, no habrá nadie que tenga más ni que tenga menos escrito en su tabla; mien-

tras que si llegamos al mundo dotados con una serie de facultades mentales, éstas podrían actuar de manera diferente en cada persona, es decir, en unas mejor que en otras. Lo que se teme es que esto pueda abrir la puerta a la discriminación, a la opresión, la eugenesia, o incluso la esclavitud y el genocidio. Por supuesto, es una conclusión totalmente ilógica. Como muchos escritores políticos han subrayado, el compromiso con la igualdad política no es una reivindicación empírica de que los seres humanos son clones. Es una exigencia moral que en ciertas áreas se considere a las personas como individuos, sin tener en cuenta la media estadística de los grupos a los que pertenecen; y lo es también el reconocimiento de que, por grande que sea la diversidad de personas, todas tienen ciertas características comunes debido a su naturaleza humana común. A nadie le gusta verse humillado, oprimido, esclavizado o privado de lo necesario. Como dice la Declaración de Independencia de los Estados Unidos, la igualdad política consiste en reconocer que las personas tienen ciertos derechos inalienables, concretamente el derecho a la vida, a la libertad, y a búsqueda de la felicidad; reconocer estos derechos no es lo mismo que creer que las personas sean idénticas en todos los sentidos.

El segundo es el miedo a la incapacidad de perfección: si existe innata en los seres humanos una serie de pecados y defectos, como el egoísmo, los prejuicios, la estrechez de miras y la tendencia al autoengaño, la reforma política parece en ese caso una pérdida de tiempo. ¿Para qué tratar de hacer del mundo un lugar mejor, si el ser humano está corrompido hasta la médula y lo estropeará todo inevitablemente? A quienes simpatizan con la romántica política revolucionaria de los años sesenta y setenta –que es de donde nació la oposición inicial a la sociobiología– siempre les ha enfurecido la afirmación de que las limitaciones de la naturaleza humana podrían co-

artar los planes sociales. Éste también es un argumento incorrecto. Sabemos que pueden producirse mejoras sociales porque, de hecho, muchas de esas mejoras sociales ya se han producido: en las democracias de Occidente se ha puesto fin a la esclavitud, a la tortura, las matanzas, el despotismo y la propiedad sobre las mujeres. El cambio social puede producirse incluso cuando la naturaleza humana esté fijada, pues la mente es un sistema complejo que consta de muchas partes. Tal vez tengamos motivos que nos tienten a cometer actos espantosos, pero también tenemos motivos que los contrarrestan. Podemos concebir maneras de enfrentar un deseo humano a otro y mejorar así nuestra condición, del mismo modo que manipulamos las leyes físicas y biológicas (en vez de negar que existen) para mejorar nuestras condiciones físicas. Combatimos la enfermedad, nos protegemos de las inclemencias del tiempo, aumentamos el volumen de las cosechas... y podemos reorganizar también nuestra sociedad.

Un buen ejemplo es la invención del gobierno democrático. Como explicó Madison, al instituir controles y contrapesos en un sistema político contrarrestamos la ambición de una persona con la de otra. No es que hayamos criado o generalizado un nuevo ser humano libre de ambición; simplemente hemos desarrollado un sistema en el que esas ambiciones están bajo control.

Otra razón por la que la naturaleza humana no es impedimento para el progreso social es que muchos rasgos de esa naturaleza humana tienen parámetros no establecidos. Esto se vio hace ya tiempo en el caso del lenguaje: algunos idiomas construyen sus oraciones según un orden sintáctico diametralmente opuesto al del inglés, pero por lo demás siguen la misma lógica. Idéntica libertad de parámetros tiene nuestro sentido moral: personas de todas las culturas son capaces de respetar y simpatizar con otras personas; la pregunta es con *qué* otras

personas. Puede que, de entrada, estuviéramos moralmente predispuestos a simpatizar sólo con los miembros de nuestro clan o poblado; pero en el transcurso de la historia se han sucedido los reajustes, y esa apertura ha hecho posible que una parte cada vez mayor de la humanidad sea admitida en el círculo de personas cuyos intereses consideramos comparables a los nuestros. Desde el poblado o el clan, el círculo moral se ha ido expandiendo, a la tribu, a la nación, y recientemente a la humanidad entera, como en la Declaración Universal de Derechos Humanos. Esta observación (que originariamente hizo el filósofo Peter Singer) es un ejemplo de cómo somos capaces de disfrutar de unas mejoras sociales y un progreso moral a pesar de tener incorporadas ciertas inclinaciones y facultades, con tal de que esas facultades puedan responder a las aportaciones que llegan del exterior. En el caso de la moralidad, las aportaciones relevantes tal vez sean una conciencia cosmopolita de la historia y la narrativa de otros pueblos, que nos permite proyectarnos en las experiencias de personas a las que, de otro modo, quizá hubiéramos considerado un obstáculo o un enemigo.

En tercer lugar está el miedo al determinismo: a que ya no habrá posibilidad de responsabilizar a las personas de su comportamiento, puesto que siempre podrán echarle la culpa a su cerebro, a sus genes o a su historia evolutiva (el impulso evolutivo o el gen asesino actuarán en su defensa). El miedo no viene al caso, por dos razones. Una es que, hasta ahora, las excusas más disparatadas para la mala conducta se han buscado en el entorno y no en la biología; por ejemplo, el eximente de abuso que sacó del atolladero a los hermanos Menéndez en su primer juicio; la defensa de la "cólera negra" empleada para intentar que fuera absuelto el pistolero del ferrocarril de Long Island; o el alegato de «la pornografía me incitó a hacerlo» que los abogados defensores han tratado de utilizar en favor

de los violadores a quienes defienden. Si existe una amenaza a la responsabilidad, ésta no procede del determinismo biológico, sino de cualquier clase de determinismo, incluidos la educación infantil, los medios de comunicación y el condicionamiento social. No obstante, ninguno de ellos debe tomarse en serio. Incluso si hay partes del cerebro que compelen al individuo a actuar de cierto modo por diversos motivos, otras partes del cerebro responden a las repercusiones legales y sociales cuyo mensaje implícito es «uno ha de aceptar responsabilidades por sus actos». Si, por ejemplo, robo en una licorería, iré a la cárcel; si engaño a mi esposa, pronto mis amigos, parientes y vecinos pensarán que soy un vulgar sinvergüenza y no querrán saber nada de mí. El obligar a las personas a asumir responsabilidad por sus actos confiere realismo a toda una serie de contingencias, y el efecto que esto tiene en algunas partes del cerebro inhibe en la persona ciertas acciones que de otro modo quizá llevaría a cabo. No hay razón por la que debiéramos rendimos en nuestro intento de mejorar la conducta humana –concretamente, los sistemas de inhibición del cerebro– por el simple hecho de que hoy tengamos una comprensión más amplia de los sistemas de la tentación.

Y el último, es el miedo al nihilismo. Si se puede demostrar que todos nuestros motivos y valores son producto de la psicología del cerebro, que a su vez ha sido moldeado por las fuerzas de la evolución, entonces (según el miedo) esos motivos y valores serían una farsa, carecerían de realidad objetiva: en *realidad* no amaría a mi hijo, sino que, de un modo egoísta, estaría sencillamente propagando mis genes; las flores, las mariposas y las obras de arte no serían de verdad hermosas, pues la explicación es que el cerebro ha evolucionado hasta ser capaz de procurarme una sensación agradable cada vez que la retina capta determinada disposición luminosa. Se teme que la biología desacredite todo lo que consideramos

sagrado. El origen de este miedo es la confusión que hay entre dos formas muy diferentes de explicar la conducta. Lo que los biólogos llaman explicación *inmediata* hace referencia a lo que para mí, dado el cerebro que tengo, es significativo. Y la explicación *última*, por el contrario, se refiere a los procesos evolutivos que me dieron un cerebro capaz de tener esos pensamientos y sentimientos. Es cierto que la evolución (explicación última de nuestras mentes) es un proceso corto de miras y egoísta en el que los genes son seleccionados por su capacidad de maximizar el número de copias de sí mismos. Pero eso no significa que nosotros seamos egoístas y cortos de miras, al menos no todo el tiempo. Nada impide que el proceso egoísta e inmoral de la selección natural dé lugar a un organismo social con un portentoso cerebro y un complejo sentido moral. Reza un viejo dicho que quienes tienen en alta estima las leyes y las salchichas no deberían presenciar su elaboración. Lo mismo puede aplicarse a los valores humanos. Saber cómo se crearon puede inducir a error si no se distinguen proceso y producto. La organización creada por esos genes egoístas no es necesariamente egoísta.

Y si la gente tiene miedo de la naturaleza humana, ¿en qué cree entonces? A mi entender, existe entre los eruditos e intelectuales una teoría cuasirreligiosa que incluye tanto postulados empíricos sobre el funcionamiento de la mente humana como una serie de valores que la gente añade a esos postulados. La teoría tiene tres partes. Ya he mencionado la doctrina de la "tabla rasa", que afirma que no hay tal cosa como el talento o el temperamento innatos, sino que es el entorno (la educación familiar, la cultura y la sociedad) lo que modela la mente por completo. La segunda es el mito del "buen salvaje", según el cual la maldad no es inherente a la

persona, sino generada por unas instituciones sociales corruptas. Y la tercera, el "fantasma de la máquina", postula que la parte más importante de quienes somos es en cierto sentido independiente de nuestra biología, y por lo tanto nuestra capacidad de tener experiencias y hacer elecciones no puede explicarse con argumentos basados en nuestra estructura psicológica e historia evolutiva.

Se trata en los tres casos de ideas que las ciencias de la mente, del cerebro, de los genes y de la evolución desafían cada vez con mayor rotundidad. Si se mantienen, es más por su elevado sentido moral y político que su por base empírica. La gente cree que en el terreno moral esas doctrinas son preferibles a su alternativa, que se ve como un territorio prohibido que deberíamos evitar a toda costa.

Pero la teoría de la "tabla rasa" ha perdido credibilidad a raíz de una serie de descubrimientos. Uno de ellos es la simple observación lógica de que, por muy importantes que sean la educación, la cultura y la socialización, no suceden por arte de magia. Tiene que haber un sistema de circuitos innato que haga posible el aprendizaje, que cree la cultura, que la reciba y asimile y que responda a los esfuerzos de socialización. En cuanto uno trata de especificar cuáles son esos mecanismos de aprendizaje, se ve obligado a inferir que gran parte de la estructura de la mente es innata.

La genética del comportamiento ha hecho cuestionar igualmente la hipótesis de la "tabla rasa", pues los estudios apuntan a que al menos la mitad de las variaciones de personalidad e inteligencia dentro de una sociedad provienen de la diferencia de genes. El ejemplo más concluyente es el de los gemelos que, aun habiendo estado separados desde el momento de nacer, presentan una asombrosa similitud en sus talentos y gustos. La autoridad de la "tabla rasa" ha sido también puesta en entredicho por la psicología y la antropología evolucionistas.

Hoy día sabemos por ejemplo que, pese a las innegables diferencias entre las distintas culturas, hay una serie de rasgos comunes a las 6.000 culturas del mundo. La psicología evolucionista ha revelado además que muchos de nuestros móviles carecen de sentido en el contexto del esfuerzo cotidiano por mejorar nuestro bienestar físico y psicológico, pero pueden explicarse en función de los mecanismos de selección natural que operan en el medio en el que nosotros evolucionamos. Un ejemplo relativamente controvertido es el gusto por las grasas y el azúcar, que fueron valiosos en un tiempo en el que estos nutrientes escaseaban, pero que no benefician a nadie en el medio moderno, donde además son baratos y abundan por doquier. Tal vez más controvertido sea el ejemplo de la sed universal de venganza, que era la única defensa a nuestro alcance en un mundo en el que no era posible marcar el 091 para que la policía se personara cuando nuestros intereses se veían amenazados. Una actitud beligerante era la única fuerza disuasoria cuando los intereses de otro entraban en conflicto con los de uno mismo. Un tercer ejemplo es el papel primordial que tiene el atractivo físico en la elección de pareja. Como muchas personas sensatas han recalcado durante miles de años, la apariencia física no es buen indicador de lo feliz o compatible que será una relación; la curva de la nariz de mi novia o la forma de su barbilla no pueden predecir lo bien que nos llevaremos el resto de nuestra vida. Pero la psicología evolucionista ha visto que la belleza de rasgos físicos es indicio de salud y fertilidad. Nuestra fatal debilidad por las parejas atractivas puede explicarse en función de nuestra historia evolutiva, y no de nuestros cálculos sobre qué nos reportará bienestar. También la ciencia del cerebro cuestiona la "tabla rasa". Una de las principales cualidades del cerebro es lo que los científicos llaman plasticidad, que es lo que nos permite aprender. Sin embargo, las investigaciones más recientes revelan que mu-

chas de las propiedades del cerebro están organizadas genéticamente y no dependen de la información que le llega a través de los sentidos.

La doctrina del "buen salvaje" ha perdido validez a raíz de la revolución que ha experimentado nuestra visión de las sociedades no estatales. Muchos intelectuales creen que entre los cazadores-recolectores la violencia y la guerra son raras o rituales, y que una batalla termina en cuanto el primer hombre cae a tierra. Pero los estudios que cuentan el número de muertos muestran, por el contrario, que los índices de homicidio en los pueblos prehistóricos alcanzan una magnitud mayor que los de las sociedades modernas, ¡incluso teniendo en cuenta las estadísticas de las dos guerras mundiales! Tenemos pruebas también de que rasgos problemáticos del carácter, como la psicopatía, las tendencias violentas, la insensibilidad o una personalidad antagonista, son en gran medida hereditarios; y se ha visto que, subyacente a la violencia, hay en el cerebro ciertos mecanismos que probablemente son comunes a todos los primates. A la vista de estos factores, está claro que no podemos simplemente culpar de todo lo que no nos gusta de nosotros a las instituciones de una sociedad en particular.

Y por último, el "fantasma de la máquina" ha perdido autoridad por los descubrimientos de la ciencia cognitiva y la neurociencia. El fundamento de la ciencia cognitiva es la teoría computacional de la mente, cuya idea es que la inteligencia puede explicarse como una especie de procesamiento informático, y la motivación y la emoción, como sistemas cibernéticos de respuesta. Hechos y fenómenos que anteriormente se consideraban producto exclusivo de la mente –tales como creencias, deseos, inteligencia, y una conducta dirigida a la obtención de un fin– pueden explicarse en términos físicos. Y la neurociencia, por su parte, ha exorcizado con la más absoluta rotundidad al "fantasma de la máquina" al mostrar

que nuestros pensamientos, sentimientos, impulsos y conciencia dependen por completo de la actividad fisiológica del cerebro.

De las cuatro nuevas ciencias que estudian la naturaleza humana –la ciencia cognitiva, la neurociencia, la genética del comportamiento y la psicología evolucionista–, ésta última es la que probablemente ha despertado mayor controversia en la última década, mucha de ella innecesaria. En cierto sentido, toda la psicología es evolucionista. Cuando de lo que se trata es de comprender una compleja facultad psicológica como la sed, como la percepción de las formas o la memoria, los psicólogos siempre han apelado a la función evolutiva de estas facultades, sin que eso se considerara jamás controvertido. No es una coincidencia que, como resultado de la sed, se mantenga el equilibrio de agua y electrolitos en el cuerpo dentro de los límites necesarios para la supervivencia; de no ser por este mecanismo, los organismos estallarían como salchichas a la brasa, o se arrugarían como ciruelas secas. Ni puede ser tampoco una coincidencia que el cerebro compare las imágenes percibidas por los dos globos oculares y utilice esa información para computar la profundidad; sin esta facultad, tendríamos muchas más posibilidades de chocar contra los árboles o caernos de los acantilados. La única explicación, aparte del creacionismo, es que si esos sistemas evolucionaron fue porque permitían a nuestros antepasados sobrevivir y reproducirse mejor que otros sistemas alternativos.

La psicología evolucionista no es otra cosa que tomar esos modos de pensar y aplicarlos a aspectos del comportamiento humano que tienen una mayor carga emocional, como la sexualidad, la violencia, la belleza y los sentimientos de familia. Una de las razones por las que la evolución crea más controversia

en estas áreas que en el estudio de la sed es que, en el caso de las emociones y las relaciones sociales, las implicaciones de la evolución son menos intuitivas. No se necesita saber demasiado sobre biología evolutiva para comprender la utilidad de tener sed o visión estereoscópica; pero cuando se trata de comprender cómo se comportan los organismos entre sí, el sentido común no puede ser sustituto de una teoría evolucionista seria. No tenemos intuiciones claras sobre si lo óptimo, en el estricto sentido de la biología, es la monogamia o la poligamia, tratar a nuestros hijos como a iguales o tener nuestros favoritos, sentirnos atraídos hacia una u otra geometría facial. En todos estos casos se ha de aprender lo que la biología evolutiva predice que es mejor, luego el pensar evolucionista en estas áreas es más sorprendente que en el resto de la psicología.

La genética del comportamiento ha desafiado también nuestras intuiciones. He aquí un enigma: sabemos que los genes desempeñan un papel en la formación de la personalidad. Probablemente alrededor de la mitad de las variantes de personalidad dentro de una cultura pueden atribuirse a diferencias genéticas. Al oír esto, la gente llega a menudo a la conclusión de que la otra mitad proviene de la educación que los padres dan a sus hijos: o sea, la mitad fruto de la herencia, y la otra mitad, del medio ambiente...; un buen arreglo, ¿no? Falso. Resulta que el otro 50% de las variaciones no puede explicarse por la familia en la que uno se ha criado. Veamos concretamente lo que la genética del comportamiento ha descubierto. Todos hemos oído hablar de las semejanzas que presentan los gemelos, aun habiendo estado separados desde el momento de nacer: obtienen resultados similares en los test de personalidad, tienen gustos musicales parecidos, opiniones políticas parecidas, etcétera. Ahora bien, el otro descubrimiento, igual de importante pero menos valorado, es que las diferencias en-

tre gemelos separados al nacer no es mayor que la de los gemelos que han crecido juntos en la misma casa, con los mismos padres, el mismo número de televisores, de libros o de pistolas; el haber crecido juntos no les hace, a la larga, más parecidos en inteligencia o personalidad. Y otro descubrimiento que corrobora esto es que entre hermanos adoptados, que han vivido en la misma casa pero no tienen los mismos genes, no existe ninguna relación en cuanto a personalidad e inteligencia; no existe entre ellos más parecido que el que hay entre dos personas elegidas en la calle al azar. Por lo tanto, no todo está en los genes, pero lo que no está en los genes tampoco está en el medio ambiente familiar; ni las personalidades dominantes ni la actuación particular de los padres en la crianza de sus hijos ofrecen una explicación válida.

¿Cuáles son los determinantes *no* genéticos de la personalidad y la inteligencia, dado que, casi con absoluta certeza, el medioambiente familiar no lo es? Los primeros en advertir este enigma fueron los investigadores de la genética de la conducta David Rowe, Robert Plomin y Sandra Scarr, enigma que ha sido también el tema de los libros recientemente escritos por Rich Harris y Frank Sulloway. Mucha gente, buscando a tientas la forma de volver a colocar a los padres en escena, concluye que las diferencias entre hermanos han de ser debidas al modo en el que los padres tratan a cada uno de sus hijos. Olvidémoslo. Lo que los estudios más minuciosos han revelado es que, cuando los padres tratan de diferente manera a cada uno de sus hijos, es porque los niños son ya de entrada diferentes entre sí, igual que uno reacciona de manera distinta ante personas distintas. Cualquier progenitor con más de uns hijo sabe que los niños son personas, que nacen con una personalidad.

En lo que Sulloway y Harris discrepan es en que Sulloway defiende que esas variaciones que aún no se han podido ex-

plicar provienen del modo en que cada niño se diferencia a sí mismo de los demás hermanos de la familia. Cada uno adopta estrategias para competir por la atención de los padres así como por los recursos externos, y reacciona con quienes no son sus parientes empleando las mismas estrategias que para él surtieron efecto dentro de la familia. Harris aduce que las variaciones atienden a cómo sobrevive cada niño dentro de su grupo de iguales: al modo en que se hace un hueco en su propia sociedad y desarrolla estrategias para prosperar en ella.

Yo creo que Sulloway ha captado algo sobre la dinámica que existe entre los hermanos dentro de la familia, pero no estoy seguro de que esas estrategias determinen sus personalidades *fuera* de ella. Lo que funciona con nuestro hermano pequeño no funcionará necesariamente con personas desconocidas, amigos y colegas. La mayor parte de los datos que prueban la hipótesis de Sulloway proceden de estudios en los que los hermanos opinan sobre sus hermanos, los padres opinan sobre sus hijos, o los hermanos opinan sobre sí mismos; sin embargo, la teoría no encuentra demasiado apoyo en aquellos estudios que contemplan la personalidad de la persona fuera del hogar. En fin, un importante principio de la psicología evolucionista es que las relaciones de uno con sus familiares son muy diferentes de las que establece con quienes no son sus parientes.

En cuanto a Harris, me resulta convincente su argumento de que la socialización tiene lugar en el grupo de iguales y no en la familia. La mayoría de los psicólogos infantiles no quieren saber nada de ello; aun así, es una hipótesis que corroboran un estudio detrás de otro. Veamos sólo unos ejemplos: los niños acaban adoptando casi siempre el acento de sus compañeros, no el de sus padres; los hijos de inmigrantes incompetentes suelen desenvolverse con soltura si sus compañeros nativos les ponen al tanto de lo que necesitan saber; cuando se

deja jugando juntos a varios niños y no hay un idioma adulto que deban aprender, inventan un idioma propio. Además, muchos estudios han mostrado que variantes familiares radicalmente distintas entre sí –ya crezca uno en la Casa de los Martínez o en una comuna hippie, ya tenga dos progenitores del mismo sexo o uno de cada, ya pase su infancia en el hogar familiar o en una guardería, ya sea hijo único o miembro de una familia numerosa, ya fuera concebido por métodos naturales o en una bandeja de laboratorio– no dejan huella perdurable en la personalidad de uno mientras uno forme parte de un grupo normal de amigos.

Lo que, a mi entender, la teoría de Harris no ha explicado de modo satisfactorio –al menos por ahora– es esa enigmática variación de la personalidad *per se*. No es lo mismo personalidad que socialización. La socialización es cómo llegamos a ser personas capaces de funcionar en la sociedad: de hablar un idioma, hacer amigos, conservar un puesto de trabajo, llevar la ropa que se considera adecuada; y la "personalidad" tiene que ver con si uno es afable o perverso, atrevido o tímido, laborioso o indiferente. He aquí el problema. Retrocedamos a nuestra piedra de toque: los gemelos que se han criado juntos, que tienen los mismos genes, prácticamente la misma influencia medioambiental y, sin embargo, no tienen una personalidad idéntica. Casi con seguridad habrán crecido con los mismos grupos de amigos, o al menos el mismo tipo de grupos de amigos, y sus personalidades y características físicas tenderán a situarles en lugar parecido dentro de esos grupos de amigos. Así pues, los grupos de amigos no pueden por sí mismos explicar la misteriosa diferencia de personalidad. Seamos justos: Harris señala que el lugar que uno ocupa en un grupo de amigos (el conciliador, el bala perdida, el bufón, el intermediario) puede depender en parte del azar: de qué lugar esté vacante dentro del círculo cuando uno encuentra un grupo de ami-

gos con los que salir. Puede que esto tenga cierto peso, pero no deja de ser un caso particular de algo mucho más amplio, que es el decisivo papel que el azar desempeñe tal vez en la formación de quienes somos. Aparte de qué puesto estuviera libre en nuestro grupo de amigos, otros sucesos impredecibles nos afectaron mientras crecíamos: ¿nos tocó la litera de abajo o la de arriba?; ¿nos persiguió alguna vez un perro, nos caímos de cabeza, contrajimos alguna enfermedad infecciosa, tuvimos un profesor que nos sonreía?

Y hay incluso más sucesos ocurridos por azar que influyeron en las conexiones eléctricas del cerebro mientras estábamos en el útero materno y durante los primeros dos años de vida. Sabemos que de ningún modo hay en el genoma información suficiente como para determinar el cerebro hasta la última sinapsis, y que el cerebro tampoco está completamente moldeado por la información sensorial entrante. Basándonos en estudios del desarrollo de organismos simples como la mosca de la fruta o las lombrices intestinales, sabemos que el desarrollo depende en gran medida de la casualidad. Entre variedades genéticamente homogéneas de lombrices criadas en las mismas condiciones monótonas del laboratorio, un animal puede vivir tres veces más que otro. Dos moscas de la fruta de variedades endogámicas –de hecho, clones– pueden ser físicamente distintas: pueden tener diferente número de pelos debajo de cada ala, por ejemplo. Si los organismos simples como los gusanos y las moscas pueden resultar distintos por razones caprichosas, entonces no cabe duda de que el azar desempeña un papel todavía mayor en el modo de desarrollarse de nuestros cerebros.

La idea de que la mente humana es una tabla rasa ha tenido gran influencia en muchos campos. Uno de ellos es la arquitectura y el urbanismo. El nacimiento en el siglo XX de un movimiento llamado alto modernismo autoritario fue simul-

táneo al auge de la tabla rasa. Los urbanistas creyeron que nuestro gusto por los espacios verdes, el ornamento, los bancos donde sentarse a ver a la gente pasar o los lugares acogedores para reuniones sociales íntimas eran constructos sociales. Se pensó que no eran más que artefactos arcaicos que interferían en el diseño ordenado de las ciudades y debían ser desechados ahora que los urbanistas se disponían a hacer un diseño óptimo de ellas de acuerdo con unos supuestos principios científicos. El ejemplo más claro fue Le Corbusier. Él y otros urbanistas tenían una concepción minimalista de la naturaleza humana: un ser humano, pensaban, necesita tantos metros cúbicos de aire al día, tantos litros de agua, tantos metros cuadrados en los que dormir y trabajar, una temperatura entre ciertos límites, etcétera. Las casas se convirtieron en "máquinas para vivir", y las ciudades –diseñadas en función de esta breve lista de necesidades y de satisfacerlas del modo más eficiente– en amplias avenidas, complejos de viviendas en forma de inmensos rectángulos de cemento, y grandes plazas abiertas. En casos extremos, esto llevó a planificar, en un terreno baldío, la construcción de ciudades como Brasilia; en casos más moderados, se materializó en los proyectos de "renovación urbana" de las ciudades norteamericanas, las deprimentes torres de apartamentos de la Unión Soviética, y de viviendas de protección oficial inglesas. La ornamentación, la escala humana, el espacio verde, los jardines y los lugares de reunión acogedores fueron erradicados de las ciudades porque los urbanistas tenían una teoría de la naturaleza humana que excluía la estética humana y las necesidades sociales.

Tenemos otro ejemplo en las artes. En el siglo XX, el modernismo y el posmodernismo lo dominaron todo, y sus representantes desdeñaron la belleza por considerarla burguesa, empalagosa, trivial. Deliberadamente, se hizo del arte algo incomprensible, feo o escandaloso, dando también esta vez por

sentado que nuestra predilección por los rostros, paisajes y colores gratos a la vista eran un constructo social reversible. Esto llevó además a exagerar la dinámica del estatus social que siempre ha formado parte de las artes: antiguamente, las artes elitistas solían alinearse con la aristocracia económica y política, pues implicaban un despliegue de suntuosidad y un alarde de raras y preciosas maestrías que sólo los ricos ociosos podían cultivar; pero ahora que cualquier pelagatos podía permitirse el lujo de comprar un CD de Mozart o de entrar gratis en un museo, los artistas tuvieron que ingeniar nuevas formas de diferenciarse de la plebe. Así que el arte se volvió desconcertante e impenetrable, a menos, claro está, que uno estuviera familiarizado con las teorías arcanas.

Como los propios implicados admiten, los programas universitarios de humanidades y las instituciones que promueven nuevas obras de arte elitista están en crisis. Apenas nadie se interesa por ellos, y no creo que haga falta ser un genio para adivinar la razón. Al negar el sentido humano de belleza visual en la pintura y la escultura, de melodía en la música, de metro y rima en la poesía, de argumento, narración y estilo en la novela, las artes elitistas desestimaron a la gran mayoría del público, gente que se acerca al arte por placer y edificación del espíritu, y no por situarse en una posición de superioridad. Actualmente hay en las artes movimientos que intentan volver a introducir la belleza, la narración, la melodía y otros placeres humanos básicos; y a esos artistas se les considera radicales.

Son muchos los artistas y estudiosos que han explicado que, en última instancia, el arte depende de la naturaleza humana. Las reacciones estéticas y emocionales que tenemos ante las obras de arte dependen de cómo esté dispuesto nuestro cerebro. El arte surte un efecto porque atrae ciertas facultades cerebrales: la música depende de detalles del sistema auditivo; la pintura y la escultura, del sistema de visión; la

poesía y la literatura dependen del lenguaje; y las percepciones profundas que esperamos derivar de las grandes obras de arte dependen de su capacidad de explorar los eternos conflictos de la condición humana, tales como los conflictos entre el hombre y la mujer, el "yo" y la sociedad, el padre y el hijo, el hermano y el hermano, el amigo y el amigo. Algunos teóricos de la literatura han sugerido que valoramos la tragedia y las grandes obras narrativas porque exploran las permutaciones y combinaciones del conflicto humano; y éstos son precisamente los temas que áreas como la psicología evolucionista, la genética de la conducta y la psicología social tratan de esclarecer. Las ciencias de la mente pueden reafirmar la idea de que hay una indeleble naturaleza humana que se siente atraída por las grandes obras de arte.

Tal vez estemos presenciando el acercamiento entre las humanidades y la ciencia de la naturaleza humana, que durante tanto tiempo han estado separadas a causa del posmodernismo y el modernismo. No obstante, los licenciados universitarios se quejan, en sus mensajes de correo electrónico y en las salas de conferencias, de que corren el riesgo de quedarse fuera del mercado laboral a menos que perpetúen la jerigonza posmoderna, y comentan con qué ansia esperan que a través de las ciencias lleguen nuevas ideas que vivifiquen las humanidades en el ámbito universitario. Los entendidos en arte y quienes saben apreciarlo empiezan a estar ya hartos de la enésima exposición del cuerpo humano femenino que muestra partes del cuerpo desmembradas, o de las irónicas alusiones a la cultura comercial supuestamente dirigidas a sacar a la gente de su complacencia burguesa pero que en realidad no son más perspicaces que cualquier parodia de las que vemos en *El papus* o en "Homo-zapping".

Durante el último siglo, la vida intelectual ha estado profundamente marcada por una comprensible repulsa hacia el nazismo, junto con sus teorías pseudocientíficas sobre la raza y su igualmente absurda glorificación del conflicto como parte de la sabiduría evolutiva de la naturaleza. Era natural que se rechazara cualquier cosa que evocara siquiera vagamente un enfoque genético de las cuestiones humanas. Pero los historiadores de ideas han empezado a rellenar otro aspecto de la representación. El hecho asombroso es que los dos grandes genocidios del siglo XX que tuvieron una base ideológica se fundamentaron en teorías sobre la naturaleza humana diametralmente opuestas. Los marxistas no tenían nada a lo que aplicar el concepto de raza, no creían en los genes, y negaban que la teoría de la selección natural de Darwin fuera el mecanismo de adaptación evolutiva. No es el enfoque biológico de la naturaleza lo singularmente siniestro. El nazismo y el totalitarismo marxista deben de tener un hilo común que trasciende la creencia en el papel relevante de la evolución o de la genética. Un hilo común a ambos fue el deseo de rehacer la humanidad. En el caso del marxismo, a través de la ingeniería social; en el del nazismo, a través de la eugenesia. Ni el uno ni el otro estaban satisfechos con los seres humanos tales cuales eran, con todas sus imperfecciones y debilidades. En lugar de construir un orden social en torno a las cualidades humanas consistentes, pensaron que podían reingeniar las características humanas valiéndose de principios científicos, como los llamaron ellos, y que eran en realidad pseudocientíficos.

En el reciente libro de Martin Amis sobre el estalinismo, explica que los intelectuales no han asimilado aún las lecciones del totalitarismo marxista del modo en que lo hicieron unas décadas antes con el totalitarismo nazi. Una serie de historiadores y filósofos políticos han hecho la misma observa-

ción. Este punto ciego ha distorsionado el panorama intelectual, incluidas las implicaciones y no implicaciones de la genética y la evolución para comprendernos a nosotros mismos. Chejov dijo una vez: «El hombre cambiará cuando se le muestre de verdad cómo es». No sé expresarlo mejor.

LA VERDAD SOBRE LA NATURALEZA HUMANA

HELENA CRONIN

Es indudable que la naturaleza humana está fijada: es universal e inalterable, común a cada ser que nace, todo a lo largo de la historia de nuestra especie. Sin embargo, la conducta humana que esa naturaleza genera es infinitamente variable y diversa. Después de todo, unas leyes fijas pueden originar una interminable gama de resultados. La selección natural nos proveyó de las leyes fijas –leyes que constituyen nuestra naturaleza humana– y dio a esas leyes la capacidad de generar una conducta sensible al medio ambiente. Por lo tanto, la respuesta al determinismo genético es bien simple: si queremos cambiar la conducta, basta con que cambiemos el medio ambiente. Para saber qué cambios serían apropiados y efectivos, uno debe conocer esas leyes darwinistas; sólo se necesita comprender la naturaleza humana, no hace falta cambiarla.

HELENA CRONIN es codirectora del Centro de Filosofía de las Ciencias Sociales y Naturales de la London School of Economics, donde dirige el variado y exitoso programa Darwin @LSE, que promueve investigaciones vanguardistas de la teoría evolutiva. Es autora de *The Ant and the Peacock* [*La hormiga y el pavo real*].

Las preguntas que me hago en este momento se refieren a la conexión entre dos cuestiones: por un lado está lo que la ciencia nos cuenta sobre cómo han evolucionado las diferencias entre hombres y mujeres, es decir, lo que sabemos por la teoría darwinista moderna, y por otro está la percepción de la ciencia que tiene el público, notablemente negativa y plagada de malentendidos. Desde luego que cuando la teoría de la evolución se aplica a nuestra especie provoca siempre oposición; pero cuando se habla de las diferencias entre los sexos... entonces la hostilidad y las tergiversaciones son ya un asunto muy serio.

Todo ello nace de haber entremezclado la ciencia y la política. La gente parece pensar que, si a uno no le gustan las implicaciones ideológicas que cree ver en un postulado científico, es libre de rechazar la ciencia y sustituirla por su propia versión improvisada. Ya sé que suena ridículo. La ciencia no tiene implicaciones ideológicas; simplemente nos cuenta cómo es el mundo, y no cómo debería ser. Luego, si es una justificación,

un juicio moral o cualquier afirmación en tono de autoridad lo que surge como conclusión de unas premisas puramente científicas, lo que uno ha de hacer, obviamente, es desafiar la lógica del razonamiento, no rechazar las premisas. Por desgracia, la gente se indigna hasta tal punto con la conclusión que acaba rechazando la ciencia y no la falacia.

La "implicación" que parece preocupar a la mayoría de la gente es el llamado determinismo genético: la idea de que si la naturaleza humana fue moldeada por la evolución, eso significa que está fijada y tenemos que cargar con ella; no hay nada que hacer. Por lo tanto, nunca podremos cambiar el mundo y hacerlo como nos gustaría que fuese; nunca podremos establecer sociedades más justas: la creación de normas y la política son inútiles.

Bien, eso es un completo malentendido, pues no hace distinciones entre la naturaleza humana –lo que ha resultado de nuestra evolución psicológica– y la conducta que resulta de ella. Es indudable que la naturaleza humana está fijada: es universal e inalterable, común a cada ser que nace, todo a lo largo de la historia de nuestra especie. Sin embargo, la conducta humana que esa naturaleza genera es infinitamente variable y diversa. Después de todo, unas leyes fijas pueden originar una interminable gama de resultados. La selección natural nos proveyó de las leyes fijas –leyes que constituyen nuestra naturaleza humana–y dio a esas leyes la capacidad de generar una conducta sensible al medio ambiente. Por lo tanto, la respuesta al determinismo genético es bien simple: si queremos cambiar la conducta, basta con que cambiemos el medio ambiente. Y para saber qué cambios serían apropiados y efectivos, uno debe conocer esas leyes darwinistas; sólo se necesita comprender la naturaleza humana, no hace falta cambiarla.

Los estudios clásicos de Margo Wilson y Martin Daly sobre el homicidio ilustran esto claramente. Los índices de ho-

micidio varían enormemente dependiendo de las distintas sociedades. Durante los años setenta y ochenta, cuando el índice de asesinatos en Chicago era de 900 al año por millón de habitantes (entre personas del mismo sexo y sin relación de parentesco), el índice en Inglaterra y Gales era de 30, y en Islandia apenas si se cometía ninguno. Algo que resulta muy evidente al estudiar el patrón de los asesinatos es que los genes, la naturaleza humana, no se diferencian en los distintos lugares; aunque los índices son espectacularmente diferentes, el patrón es exactamente el mismo. Si en el gráfico de Chicago comprimimos los ejes de edad y sexo de los asesinos y lo colocamos sobre el gráfico de Inglaterra y Gales, las curvas encajan a la perfección: el abrumador resultado que muestran es el de jóvenes que matan a otros jóvenes; que empiezan a hacerlo, tienen su momento álgido, y dejan de hacerlo exactamente a la misma edad. La diferencia entre un índice y otro son los distintos ambientes; y éste es un dato crucial a la hora de tomar medidas. Vemos que el factor de nuestras mentes evolucionadas que determina la diferencia de índices en los distintos entornos es la propensión universal del macho a ser altamente competitivo, factor que en condiciones extremas puede conducir al homicidio. Esto nos habla de las condiciones que necesitamos crear para reducir los índices de asesinato. Así, es comprensible que el enfoque darwinista, lejos de ser determinismo genético, haya llegado a considerarse (con sólo un poco de ironía) "una disciplina medioambiental".

El determinismo genético alienta la idea de que los genes forman parte del proceso causal, luego para cambiar los resultados es necesario dar un pellizco a los genes: hay que modificar esa causa concreta. Es una idea francamente extraña. No hay razón para que uno no pueda intervenir en cualquier parte del proceso causal, para que cualquier alteración deba comenzar por los genes. Como hemos visto en cuanto a los ín-

dices de asesinato, cuando tratamos con los universales de la naturaleza humana, el medio ambiente es el lugar obvio donde se ha de intervenir, pero esto puede ser válido también incluso cuando tratamos con las diferencias genéticas entre personas. Hay diferencias genéticas, por ejemplo, en la propensión a desarrollar diabetes en la edad adulta. En un medio donde la gente se alimenta de comida tradicional –baja densidad de calorías, abundancia de fibra, índice bajo de grasas y azúcar– nadie desarrolla este tipo de diabetes. Sin embargo, en cuanto a esa misma población se la somete a una dieta moderna, se hace evidente de inmediato qué personas tienen mayor disposición hereditaria a la enfermedad. Análogamente, podría haber diferencias en la inclinación del hombre a competir; pero, aun así, en los ambientes apropiados –más Islandia que Chicago– esas diferencias apenas se apreciarían en las estadísticas de homicidios.

Hay muchas otras nociones que se han ido metiendo en el saco del determinismo genético, relacionadas con el libre albedrío y la responsabilidad, con el dominio sobre la propia vida, etcétera; ahora bien, todavía estoy por descubrir una sola interpretación del determinismo genético que entrañe ninguna de las implicaciones que a la gente tanto le preocupan. Al contrario, resulta que cualquier cosa que pueda aplicarse a los genes puede igualmente aplicarse al medio ambiente; luego si la gente tiene miedo del determinismo genético debería preocuparse igualmente por el determinismo medioambiental.

Este pensar temeroso aplicado a las diferencias entre los sexos ha despertado una vehemente disconformidad con la idea misma de que haya habido una evolución de las diferencias entre hombres y mujeres, oposición que han encabezado especialmente las feministas. El "feminismo" abarca, desde luego, multitud de puntos de vista. A menudo no tienen mucho en común las recalcitrantes marxistas de la izquierda británica, las

generadoras de la jerga "posmoderna", y la gran ejecutiva que se sacude de las hombreras las motas de polvo depositadas al atravesar la última barrera en su ascenso hasta la cima; pero en lo que sí concuerdan la mayoría de las escuelas feministas es en el antidarwinismo. Incluso las llamadas "feministas de la diferencia", que "celebran" el "nosotras" frente al "ellos/ellas", prefieren inventar diferencias que diferir de la ciencia. Me parece todo ello tan desalentador..., y como darwinista y feminista, doblemente desalentador.

Creo que esta restricción nace de la vaga creencia de que no puede haber justicia sin idéntica igualdad; y digo "vaga" porque en cuanto se pronuncia la frase se ve que es obviamente una falacia. No obstante, la mayoría de las corrientes del feminismo se han comprometido de algún modo con la idea de que si hombres y mujeres son en cualquier sentido fundamentalmente distintos eso minará la búsqueda de una sociedad justa e igualitaria. Lo que originariamente inspiró el feminismo fue la idea de que las mujeres no debían ser discriminadas por el hecho de ser mujeres, es decir, en aquellos casos en los que ser hombre o mujer era irrelevante: se les prohibía asistir a la universidad, ser propietarias de bienes inmuebles, o votar, no por que carecieran de capacidad para ello, sino por ser mujeres. Pero aquella inspiración original acaba distorsionándose gravemente cuando se niega la evolución de las diferencias entre los sexos. Las cosas han llegado a un punto en el que es casi una exigencia que haya una representación al 50% de hombres y mujeres en todas partes –universidades, centros de trabajo, la política, el deporte, el cuidado de los niños–, y si las mujeres no están representadas en igualdad, se culpa de ello exclusivamente al sexismo. Bueno, tanto si el sexismo interviene como si no, lo cierto es que ha habido una evolución de las diferencias entre los sexos, y esa diferencia existe: en cuanto a tendencias, habilidades, valores, intereses y ambiciones. Las

mujeres tienden sistemáticamente a hacer diferentes elecciones que los hombres, y son estas preferencias distintas, no la indiscriminada distribución al 50%, lo que debería esperarse que unas leyes justas reflejaran.

Las diferencias evolutivas entre los sexos tienen mucho que ver con el término medio, por lo tanto no seccionan nuestra especie nítidamente en dos. Esto se utiliza con frecuencia como argumento antidarwinista; seguro que han oído ustedes decir: «pero las diferencias *dentro* de cada sexo son mayores que las diferencias *entre* ellos». Lo que estas palabras quieren dar a entender es que hasta tal punto se solapan las distribuciones que el interés darwinista en las diferencias induce a error.

Pero ¿es eso cierto? Cada vez que trato de estudiar minuciosamente lo que estas palabras alegan, el argumento acaba por desmoronarse. En primer lugar, lo importante que es la diferencia depende de por qué está uno interesado en ella, de cuál es su objetivo. Si su objetivo es hacerse rico, mejor que no trate de vender pornografía a las mujeres o novelas románticas a los hombres, que no trate de vender a las niñas juegos cibernéticos de "matar y matar", ni juegos de "personajes" a los niños. Y en cualquier caso, no se puede simplemente generalizar sobre cómo de grande es el solapamiento, pues depende de cada área o característica: apenas habrá solapamiento alguno si se hace competir a chicos y chicas en lanzamientos, donde los chicos ganarán prácticamente siempre, o en fluidez comunicativa, donde hasta nueve de cada diez hombres lo harán peor que las mujeres. Por otro lado está el hecho de que, incluso si esas diferencias medias son muy pequeñas, puede haber enormes diferencias en los extremos. La estatura media de los hombres es sólo unos centímetros mayor que la de las mujeres, pero las personas más altas del mundo son todas hombres, lo cual puede hacer que los hombres estén a la cabeza nada más que por esa razón estadística.

Existe además un hecho curioso –que ha desvelado la biología evolutiva– sobre la forma que adoptan las curvas de distribución de la mayoría de las diferencias varón/ hembra. Darwin advirtió el hecho –así como la particularidad de que es probadamente aplicable también a otras especies– de que los machos son mucho más variables que las hembras: están excesivamente representados tanto en la cúspide como en lo más bajo. Algunas de características que esto implica quizá le importen poco a la gente; pero ¿qué hay de la implicación de que, si bien menos mujeres tienen probabilidades de ser completas necias, también son menos las que tienen probabilidades de ser genios? Cuando mencioné esto durante un seminario en los Estados Unidos, un grupo de feministas me corrigió bruscamente: «¡No existen los genios!». Al cabo de un tiempo descubrí que ésta era ya una base comúnmente aceptada en la mayor parte de las "investigaciones feministas". No pude por menos que preguntarme si la idea de genio había sido pulverizada y eliminada de escena por no poder incluir en ella a demasiadas mujeres. La teoría darwinista sugiere igualmente que es fundamental observar las diferencias de temperamento e intereses. ¿Llegará el extraordinario estudiante de piano a convertirse en estrella internacional? El ser o no competitivo, intrépido, ambicioso de prestigio, entregado al trabajo, resuelto, tenaz pueden ser decisivos para alcanzar o no alcanzar el éxito, y éstas son cualidades que la media de los hombres posee en mayor medida, y a menudo en alarmante abundancia.

Aunque las "diferencias dentro de y entre" es un famoso argumento en el mundo feminista, no siempre encaja como sería de desear con otros argumentos del feminismo. Si es cierto que las "diferencias dentro de" son tan enormes, eso significa que las mujeres no son muy homogéneas –que es muy amplio el abanico de capacidades y destrezas– y alguna parte de las mujeres estará situada allá donde termina la línea

de distribución de los hombres. Esto puede aplicarse a un sinfín de características, desde los niveles hormonales hasta la rotación mental tridimensional (el ser capaces de imaginar objetos rotando en el espacio, una notable habilidad masculina). Ahora bien, ¿cómo engrana esto con la idea de que las mujeres que alcanzan grandes logros en áreas tradicionalmente masculinas como la ingeniería, el montañismo o lo que fuere sean "modelos de conducta" para las demás mujeres? La idea es que estas mujeres son exactamente iguales a las demás, y que es sólo el prejuicio masculino y la propia inseguridad lo que les impide desarrollar esas habilidades; pero ¿es posible que estas mujeres sean los extremos de esas "diferencias dentro de" que las propias feministas enfatizan, y por tanto no sean idénticas a cualquier mujer? Y en ese caso, ¿cómo pueden las feministas afirmar con tal convicción que son sólo los prejuicios y la inseguridad lo que impide a cualquier mujer lograr lo mismo?

Peor aún, ¿cómo puede nadie utilizar con esa convicción a estas mujeres –del modo en que a menudo hacen las antidarwinistas– como prueba para refutar las diferencias evolutivas entre los sexos? Lejos de invalidar un análisis evolucionista de la cuestión, estas mujeres son probablemente las excepciones que prueban la ley darwinista. Así, por ejemplo, las mujeres que durante su vida intrauterina estuvieron expuestas a altos niveles de andrógenos muestran con respecto a la rotación mental tridimensional una capacidad muy superior a la de las demás mujeres; de hecho, casi igual capacidad que los hombres. Y lo mismo puede decirse en cuanto a los temperamentos: las mujeres que se dedican a profesiones tradicionalmente masculinas responden a los retos con la típica subida de adrenalina "masculina", y la elección de ese determinado tipo de trabajos es consecuencia de su temperamento; no es que (como pensé la primera vez que oí hablar de ello)

su temperamento haya ido modificándose debido al trabajo que realizan.

Un último ejemplo: la frase "dentro de y entre" se usa de un modo rutinario para recordar a personas como yo que las diferencias entre los sexos son meramente generalizaciones estadísticas y no una realidad aplicable a todos los individuos, lo cual, por supuesto, es cierto. Pero ¿acaso la ruptura de barreras en el mundo laboral no es "más que" una generalización estadística? Hay un solapamiento en los trabajos de hombres y mujeres, sobre todo en los mandos intermedios, y en cuanto a los puestos más prometedores... bien, la ausencia de mujeres no es total; pero ¿es ésta razón suficiente para llegar a la conclusión de que romper barreras carece de importancia? Generalizaciones estadísticas es precisamente lo que muchas cuestiones feministas acaban siendo.

A mi entender, la distribución estadística de las diferencias entre uno y otro sexo es una cuestión muy interesante, y con importantes implicaciones para la normativa. Es una de esas áreas que está simplemente esperando a que se produzca el maridaje del enfoque evolucionista (que trata con universales) y la genética de la conducta (que se ocupa de las diferencias individualizadas). Tengo verdaderas ganas de que se hagan investigaciones en este campo, pues me parece algo que el darwinismo, el feminismo y los encargados de formular la política social decididamente necesitan resolver. Hasta entonces, el "dentro de y entre" no nos lleva a ninguna parte; es inservible –incluso enormemente confuso– como guía para tomar decisiones.

La mención de la política social tiende a provocar la pregunta: «pero ¿por qué introducir a Darwin?», cuando en realidad la pregunta debería ser a la inversa. ¿Cómo podría una política social responsable *no* estar fundada en una comprensión evolucionista de las diferencias entre los sexos? Todo

proyecto de legislación debería incluir una comprensión de la naturaleza humana, y esto significa la naturaleza femenina y masculina. Recordemos que si los legisladores quieren cambiar la conducta humana, tienen que cambiar del modo apropiado el medio ambiente, y qué es lo apropiado puede ser muy distinto para las mujeres y para los hombres. La teoría darwinista es crucial para señalar esas diferencias.

Oí hace unos días a un humorista norteamericano atacar la "escalada del neodarwinismo". «Yo no creo en el gen criminal –decía–, pero si lo hubiera, pienso que lo encontrarían al lado mismo del gen desempleado». Todo muy políticamente correcto; eso sí, absolutamente equivocado en cuanto al impacto diferencial del desempleo en hombres y mujeres. Para una mujer, el desempleo significa perder un trabajo; para un hombre, perder el estatus, y esta diferencia se combina con otras diferencias entre los sexos y lleva a hombres y a mujeres por caminos muy distintos cuando el mundo laboral les cierra las puertas. Entonces, por ejemplo, un hombre de bajo estatus es un macho de bajo estatus, y tendrá mayor dificultad en encontrar pareja; o mayor dificultad en conservar la actual, ya que aquellos matrimonios en los que la esposa gana más que el marido tienen más probabilidades de divorciarse. También correrá más riesgo de que sus hijos no sean "suyos"; los problemas de paternidad dudosa apenas alcanzan un 1% entre los hombres norteamericanos con más alto estatus, pero llega al 30% entre los desempleados y necesitados, que habitan las zonas urbanas más deprimidas. Además, está el riesgo de violencia doméstica, que proviene de los celos sexuales masculinos, y un bajo estatus es potencialmente un factor que acelera la maquinaria psicológica de los celos. Y hay todavía más; como en muchas otras especies, un descenso de estatus tiene un efecto nefasto en la salud y longevidad del macho (no así de la hembra). Si los "genes criminales" resultan estar

al lado de los "genes desempleados" en los hombres, es porque una psicología distintivamente masculina se dedica a falsificar las conexiones. Nadie a quien de verdad le importe el tema del desempleo y sus atroces derivaciones sociales debería criticar la teoría evolutiva, sino abrazarla, pues es absolutamente indispensable para dar con el quid de las conexiones causales relevantes.

La política social que no hace distinciones entre los sexos no es imparcial; no es más justa, sino menos. ¿Por qué dar por sentado, por ejemplo, que las niñas y los niños aprenden de la misma manera? Si tomamos el caso, digamos, de las matemáticas, área académica donde las diferencias entre uno y otro sexo son más extremas, la ventaja de los muchachos probablemente se deriva de una superioridad innata en el pensar mecánico y tridimensional. Existen ya pruebas de que las niñas mejoran considerablemente si se les enseña de un modo que sortee este obstáculo. Ésta es la clase de consideración que a una política educativa justa debería importarle. Y lo mismo puede decirse con respecto a la ley, el lugar de trabajo, la planificación económica o cualquier campo para el que se cree una política social.

Nuestra política social debe hacer frente a un mundo que está cambiando a gran velocidad, y esos cambios incluyen también el de las relaciones entre los sexos, debidas a hechos como el creciente desempleo masculino; el que las mujeres tengan por fin recursos suficientes para asumir solas la maternidad y la crianza; el que, a medida que su estatus se eleva, muchas mujeres descubran que el círculo de potenciales parejas se reduce; las desigualdades cada vez más grandes, que relegan de modo permanente a sectores considerables de hombres a un bajo estatus, y la creciente aceptación de que los sistemas legales no deben tratar a las mujeres como a pertenencias del hombre. ¿Cómo reaccionará nuestra psicología en evolución

–nuestras mentes de la Edad de Piedra– a estos cambios? ¿Qué será lo importante para el hombre y para la mujer? ¿Puede la teoría darwinista contribuir de algún modo a la política social? ¿Cómo podría no hacerlo?

Soy consciente de que lo que digo se considera polémico, pero no debería ser así. Hablo simplemente de ciencia... y simplemente alego modestamente que la política debería estar basada en el conocimiento. En realidad, el veredicto habría de ser a la inversa. Habría de ser la gente que está siempre dispuesta a hablar sobre política y sociedad sin saber absolutamente nada de la naturaleza humana la que se considerara polémica. Pero, por desgracia, la ciencia está ampliamente infravalorada. Creo que una de las razones es el familiar azote del relativismo (sobre todo en sus recientes encarnaciones: el posmodernismo y toda la recua). Ciencias aparte –pues éstas tienen una inmunidad incorporada–, el relativismo se ha extendido peligrosamente en el ámbito académico –y me refiero a personas influyentes que instruyen a las futuras generaciones de personas influyentes. Como resultado, la actitud general hacia la ciencia es deplorable. El punto de vista dominante es que no hay estándares universales para juzgar la verdad o falsedad de algo, ni siquiera su validez lógica; que la ciencia no progresa; que no hay nada particularmente distintivo en el conocimiento científico, etcétera. Uno de los motivos por los que tantas críticas del darwinismo ajenas a la lógica, ajenas a los hechos y a las estadísticas, han encontrado audiencia es esta actitud de que «la ciencia es sólo un punto de vista más, luego soy libre de adoptar el mío propio, cualquiera que éste sea».

Lo que es peor aún es que esta actitud suele tenerse por liberal, indicio de una mente abierta; a la ciencia, en contraposición, se la considera autoritaria y triunfalista. Pero lo que caracteriza a la ciencia sobre todo lo demás es su método crítico: cuando los científicos discrepan, hay medios objetivos

para decidir entre sus opiniones. Las teorías deben poder demostrarse, y después pasar una serie de pruebas. Las cuestiones no siempre están netamente definidas, pues la ciencia no es un proceso instantáneo, ni es, por supuesto, infalible. Pero es con mucho el mejor que tenemos, y ha realizado hasta el momento un trabajo asombroso y admirable. Una vez que la gente comprenda cómo trabaja el método científico y por qué es tan poderoso, empezará a apreciarse que realmente hay una inmensa distinción entre la ciencia y la no ciencia.

Ahora bien, hay que decir que el poder de la teoría evolucionista no se valora debidamente ni siquiera en el ámbito de la ciencia. Ha pasado siglo y medio desde la publicación del *Origen de las especies* y la teoría darwinista no ha penetrado aún en muchas áreas de la biología. Incluso entre aquellos biólogos que sí han adoptado un enfoque adaptacionista, son muchos los que lo abandonan con bastante premura cuando se ha de aplicar a nuestra propia especie, principalmente cuando se tocan temas como nuestra psicología o nuestra conducta, y máxime cuando se trata de diferencias entre los sexos. A veces todo esto me recuerda a la actitud antidarwinista del siglo XIX y principios del XX, período al que se ha llamado "el eclipse del darwinismo". La biología estaba plagada de un empirismo vulgar que despreciaba las explicaciones adaptacionistas por considerar que eran teleológicas, es decir, que iban más allá de la ciencia, y por tanto no eran ciencia genuina.

Así que el problema no está sólo en la percepción del darwinismo y de las diferencias entre los sexos que tiene el público; hay muchos científicos que se niegan a dejarse persuadir. Pero mientras aquel primer rechazo del darwinismo tuvo un carácter más bien trágico, éste parece cada vez más una farsa. Está clara la dirección que la historia de la ciencia toma a partir de aquí.

¿SOMOS CIBORGS NATOS?

ANDY CLARK

Nuestros cerebros son (por naturaleza) excepcionalmente plásticos, y su correcto funcionamiento biológico ha requerido siempre la incorporación y el aprovechamiento de puntales y plataformas no biológicos. Más aún que ninguna otra criatura del planeta, nosotros los humanos emergemos como cyborgs natos, salidos de fábrica perfectamente a punto, y preparados para poder desarrollarnos como extensas arquitecturas cognitivas y computacionales: arquitecturas cuyas fronteras sistémicas exceden con mucho las de la piel y el cráneo.

ANDY CLARK es profesor de filosofía y director del Programa de Ciencia Cognitiva en la Universidad de Indiana. Anteriormente fue profesor de filosofía en la Universidad de Sussex, Reino Unido, y director del Programa Filosofía-Neurociencia-Psicología de la Universidad Washington, en San Luis. Es autor de *Microcognition*; *Associative Engines*; *Being There* [*Estar ahí*]; *Mindware*, y *Natural-Born Cyborgs*.

Mi cuerpo es un campo electrónico virgen. No necesito incorporarle una pastilla de silicio, hacerle un implante de retina o de cóclea, ponerle un marcapasos. Ni siquiera uso gafas. Sin embargo, voy convirtiéndome cada vez más en un ciborg. Y también usted. Muy pronto, y sin necesidad tampoco en esta ocasión de cables, cirugía o cualquier otra alteración física, seremos parientes de los *Terminator*, *La mujer biónica* o... simplemente rellene usted los puntos suspensivos con su ciborg de ciencia-ficción favorito. Quizá ya lo seamos. Porque al hablar de ciborgs, no me refiero a una superficial combinación de carne y cables, sino a algo mucho más profundo; hablo de ser simbiontes humano-tecnológicos: sistemas que piensan y razonan, cuya mente e identidad se extiende a la totalidad del cerebro biológico y del sistema de circuitos no biológicos.

Tal vez esto suene a jerigonza futurista; y no me importa confesar que escribí el párrafo anterior con la intención en

parte de captar la atención del lector, ¡incluso utilizando para ello la peligrosa vía de cortejar su reprobación inmediata! Pero lo cierto es que creo que ésa es simple y literalmente la verdad. Creo que es por encima de todo una verdad científica, el reflejo de una serie de importantes hechos relacionados (¿paradójicamente?) con nuestra naturaleza especial y tan particularmente humana. Y no creo en modo alguno que esta tendencia a la hibridación cognitiva sea un avance de los tiempos modernos, sino más bien un aspecto de nuestra naturaleza humana, tan básico y ancestral como la facultad del habla y que ha ido extendiendo incesantemente su territorio desde entonces.

Es posible apreciar cierto "rastro fósil cognitivo" de nuestra cualidad de ciborgs en la procesión histórica de nuestras poderosas tecnologías cognitivas que comienzan con el habla y la enumeración: primero se plasman en texto y números escritos, después en las primeras producciones impresas (en imprentas sin movilidad de caracteres), más adelante en las revolucionarias imprentas de caracteres móviles y la prensa, y en la época más reciente en los códigos digitales que reúnen texto, sonido e imagen en un formato uniforme y ampliamente transmisible. Dichas tecnologías, una vez que entran en funcionamiento en los diversos aparatos e instituciones de nuestro entorno, hacen mucho más que posibilitar el almacenamiento externo y la transmisión de ideas: constituyen una mejora del nivel de las prestaciones mentales, una convulsión cognitiva que modifica y transforma la arquitectura de la mente humana.

Y lo que es más, el uso, el alcance y el poder transformador de estas tecnologías cognitivas van en continuo aumento. Una nueva ola de tecnología, perceptiva y personalizada, tal vez pronto lleve este ancestral proceso a su culminación, al estar nuestras mentes e identidades cada vez más entremezcla-

das en una matriz de máquinas, herramientas, accesorios, códigos y objetos diarios semiinteligentes.

En realidad, los humanos siempre hemos sido expertos en adaptar nuestras mentes y habilidades a la forma de las herramientas y soportes del momento. Pero cuando son esas herramientas y soportes los que empiezan a adaptarse a nosotros –cuando nuestras tecnologías activa, automática y continuamente se amoldan a nosotros igual que nosotros nos amoldamos a ellas–, la línea entre la herramienta y el usuario es muy, muy fina. Dichas tecnologías serán menos una herramienta que una parte del aparato mental de la persona. Continuarán siendo herramientas sólo en el débil y, en definitiva, paradójico sentido en el que mis propias estructuras neuronales que funcionan en el nivel inconsciente (el hipotálamo, el córtex parietal posterior) son herramientas. No es que yo "use" realmente el cerebro, sino que el funcionamiento del cerebro forma parte de lo que me hace ser quien soy y como soy. Lo mismo sucede con estas nuevas olas de tecnologías perceptivas e interactivas; a medida que nuestros mundos se vuelven más perspicaces y van conociéndonos cada vez mejor, es cada vez más difícil precisar dónde acaba el mundo y dónde empieza la persona.

¿Cuáles son estas tecnologías? Son muchas y variadas. Incluyen potente maquinaria portátil que conecta al usuario con una Red de ámbito mundial cada vez más receptiva; pero incluyen también –y quizá en última instancia esto sea más importante– la gradual optimización e interconexión de los muy diversos objetos de uso diario que llenan nuestras casas y oficinas.

Mi objetivo inmediato, sin embargo, no es hablar acerca de la nueva tecnología, sino hablar de nosotros: de nuestro sentido del "yo" y de la naturaleza de la mente humana. La cuestión no es hacer conjeturas sobre lo que podríamos llegar a

ser en un futuro próximo, sino valorar más lo que ya somos: criaturas cuyas mentes son especiales precisamente por estar diseñadas para combinarse y encajar con los ardides neuronales, corporales y tecnológicos.

La mejor forma de explicar el papel de las tecnologías cognitivas es definiéndolas como partes profundas e integrantes de los sistemas para la resolución de problemas que constituyen la inteligencia humana. La mejor forma de concebirlas es como partes del aparato computacional que constituye nuestras mentes. Si no siempre somos capaces de ver esto, o si la idea parece fantasiosa o absurda, es porque somos presas de un simple prejuicio: el prejuicio de que cualquier aspecto importante de la mente debe depender sólo de lo que sucede dentro del saco de piel biológico, dentro de la milenaria fortaleza que son la piel y el cráneo. Pero esta fortaleza se ha construido para que abramos una brecha en sus muros; es una estructura cuya virtud reside en parte en su capacidad de orientar delicadamente sus actividades a una colaboración con fuentes de organización externas, no biológicas, para (originariamente) resolver mejor los problemas de la supervivencia y la reproducción.

Consideremos un breve pero representativo ejemplo: el familiar proceso de escribir un artículo para un periódico, un informe académico o el capítulo de un libro. Cuando finalmente nos encontramos con el esplendoroso producto terminado, quizá felicitemos a nuestro cerebro por su excelente labor. Pero esto resulta confuso. Es confuso no simplemente porque (como de costumbre) la mayoría de las ideas, de todos modos, no eran nuestras, sino porque la estructura, la forma y la fluidez del producto final dependen en gran medida de las complejas maneras en que el cerebro coopera con, y depende de, las diversas prestaciones particulares de los medios de comunicación y tecnologías con los que continuamente interactúa. Solemos pen-

sar que nuestros cerebros biológicos son el punto de partida y la totalidad del contenido final, pero, si observamos con un poco más de detenimiento, lo que quizá a menudo descubramos es que el cerebro biológico participó en ciertos potentes y reiterados bucles a través del medio ambiente tecnológico cognitivo.

Tal vez, inicialmente, consultamos unos viejos apuntes; más tarde acudimos a algunas fuentes originales. A medida que leíamos, nuestro cerebro fue generando unas pocas respuestas fragmentarias, surgidas en el acto, que registramos debidamente mediante una marca en la página o en los márgenes. El ciclo se repite; nos detenemos para serpentear hacia atrás hasta el plan o esquema original, y los retocamos de la misma manera fragmentaria e inmediata. Todo este proceso de crítica, reorganización, realce y conexión está hondamente fundamentado en propiedades específicas de los medios de comunicación externos, que permiten que la secuencia de reacciones simples se organice y convierta en algo que podría llamarse un argumento. El papel del cerebro es crucial y especial. Pero el cerebro no lo es todo.

De hecho, el verdadero poder y la auténtica belleza del papel del cerebro es que éste actúa como factor mediador en la diversidad de complejos y reiterados procesos que continuamente serpentean entre el cerebro, el cuerpo y el medio ambiente tecnológico. Y es este sistema más amplio el que resuelve el problema. Nos encontramos así cara a cara con el equivalente cognitivo de la idea de Richard Dawkins del fenotipo extendido. El proceso inteligente *es* simplemente el que espacial y temporalmente se extiende y zigzaguea entre el cerebro, el cuerpo y el mundo.

Un buen método para entender el papel cognitivo de muchas de nuestras tecnologías cognitivas de creación propia es el de permitir que surjan operaciones complementarias a par-

tir de aquellas que llegan del modo más natural a nuestros cerebros biológicos. Visualicemos una imagen conectiva de los cerebros biológicos como máquinas cuya función es completar patrones. Dichos aparatos son expertos en conectar los patrones de la percepción sensorial del momento con cierta información asociada: escuchamos los primeros compases de una canción y recordamos el resto; vemos el rabo de la rata y creamos la imagen de la rata entera. Las máquinas computacionales de esta amplia clase han demostrado ser extremadamente eficientes en tareas tales como la coordinación sensomotriz, el reconocimiento de un rostro, de una voz, etcétera; en cambio, no están particularmente dotadas para la lógica deductiva, la planificación y las tareas típicas de razonamiento secuencial. Son, por así decirlo, buenas jugando al *Frisbee* y malas para la lógica: un perfil cognitivo familiar y extraño a la vez. Familiar, porque la inteligencia humana tiene claramente algo de eso; extraño, porque repetidamente trascendemos esos límites siempre que planeamos unas vacaciones, una forma de ahorrar, que resolvemos complejos problemas secuenciales, etcétera.

Una poderosa hipótesis –de la que tuve noticia por primera vez a través de las investigaciones de los científicos cognitivos David Rumelhart, Paul Smolensky, John McClelland y Geoffrey Hinton– es que trascendemos en gran parte estos límites al combinar la operación interna de un aparato conectivo, destinado a completar patrones, con una variedad de operaciones y herramientas externas que sirven para reducir diversos problemas secuenciales complejos a una serie ordenada de operaciones más simples, operaciones destinadas a completar patrones, pero del tipo que a nuestro cerebro le resultan más fáciles. Por lo tanto –tomo prestado su ejemplo– podemos abordar el problema de una multiplicación larga, pongamos 667 x 999, utilizando un lápiz, un papel y símbolos nu-

méricos. En cuanto comenzamos un proceso de manipulación y almacenamiento de símbolos externos, a fin de reducir el complejo problema a una secuencia de pasos simples para completar un patrón, ya hemos dado la orden de, primero, multiplicar 9 por 7 y registrar el resultado en el papel, luego 9 por 6, y así sucesivamente.

El antropólogo cognitivo Edwin Hutchins, en su libro *Cognition in the Wild*, describe el papel general de las tecnologías cognitivas en términos similares, y sugiere que dichas herramientas «permiten a los usuarios realizar las tareas que es necesario llevar a cabo mientras hacen el tipo de cosas que a las personas se les da bien hacer: reconocer patrones, modelar dinámicas sencillas del mundo, y manipular objetos del entorno». Esta descripción capta estupendamente la cualidad de aquellos que se encuentran entre los mejores ejemplos de tecnología cognitiva: los modernos paquetes de programas para procesamiento de textos, exploradores de Red, sistemas de ratón e iconos, y herramientas por el estilo. (Además nos da, por supuesto, una idea de dónde estuvo el error en muchos de nuestros primeros intentos de crear esas herramientas; las facultades requeridas para utilizar estos medios –los primeros grabadores-reproductores de vídeo, procesadores de textos...– eran precisamente aquellas que los cerebros biológicos encuentran más difíciles, como recordar y realizar largas secuencias de operaciones generalmente arbitrarias).

La conjetura, entonces, es que no puede separarse un gran salto o una discontinuidad en la evolución cognitiva humana de la forma característica en la que el cerebro humano repetidamente crea y explota diversas especies de tecnología cognitiva a fin de expandir y remodelar el espacio del razonamiento humano. Nosotros, más que ninguna otra criatura del planeta, hacemos uso de elementos no biológicos (instrumentos, medios de comunicación, anotaciones) para complementar

(pero, generalmente, no para reproducir) nuestros modos biológicos básicos de procesamiento, creando así extendidos sistemas cognitivos cuyo perfil computacional y de resolución de problemas es bastante diferente de aquellos que son inherentes al cerebro. El cerebro humano mantiene una intrincada danza cognitiva con un medio ambiente ecológicamente novedoso e inmensamente afianzador: el mundo de los símbolos, medios de comunicación, formalismos, textos, discurso, instrumentos y cultura. El sistema de circuitos computacionales de la cognición humana fluye, así, tanto dentro como más allá de la cabeza.

Lo que acabo de decir no es nuevo, y ya lo ha explicado una variedad de teóricos cuyo trabajo de investigación se ha desarrollado en el marco de numerosas tradiciones distintas. Creo, sin embargo, que la idea de que la cognición humana subsiste en una extendida arquitectura híbrida –que incluye aspectos del cerebro y de la envoltura tecnológica cognitiva en la que nuestros cerebros se desarrollan y operan– sigue estando ampliamente infravalorada. Sencillamente, no podemos esperar comprender por qué son tan especiales y tan distintivamente poderosos el pensamiento y la razón humana a través de meras palabras superficiales sobre la importancia de esta red de tecnologías circundantes. Necesitamos seguir investigando para poder tener una comprensión mucho más detallada de cómo sincronizan nuestros cerebros sus actividades de resolución de problemas con una variedad de recursos no biológicos, y de cómo los sistemas más extensos originados como consecuencia operan, cambian, interactúan y evolucionan. Además, quizá pronto sea importante (en sentido moral, social y político) aflojar públicamente los lazos que hay entre las ideas concretas de las mentes y de las personas y la imagen de las fronteras, propiedades, posiciones y limitaciones del organismo biológico básico.

Una pregunta apropiada sería: puesto que ninguna otra especie del planeta crea ambientes de diseño exclusivo tan variados, complejos y abiertos al cambio como lo hacemos nosotros (esto es, a fin de cuentas, lo que decimos que nos hace tan especiales), ¿qué fue lo que permitió que este proceso llegara a concretarse en nuestra especie de modo tan espectacular? ¿No es eso, sea lo que fuere, lo que de verdad importa? Porque de otro modo, incluso si son esos ambientes de diseño exclusivo lo que nos hace tan inteligentes, ¿no es alguna clase de diferencia biológica fundamental la que nos permite, en primer lugar, crearlos, descubrirlos o utilizarlos?

Ésta es una cuestión seria, importante, y que hasta el momento nadie ha logrado resolver. Claramente ha de haber alguna (quizá pequeñísima) diferencia biológica que nos permite introducir nuestro pie colectivo en la puerta de ese medio ambiente de diseño exclusivo. ¿Cuál puede ser? Una posible respuesta es la explicación que localiza la diferencia en una innovación biológica expansiva de la plasticidad cortical combinada con un largo período de aprendizaje protegido llamado infancia. Así, en sus estudios de neurofisiología, constructivistas como Steve Quartz y Terry Sejnowski describen cómo el crecimiento neuronal (cortical sobre todo) depende de la experiencia, y cómo de hecho está ya implicada en él la construcción misma de nuevos sistemas de circuitos neuronales (sinapsis, axones, dendritas), y no sólo la puesta a punto de sistemas de circuitos con forma y carácter básicos ya predeterminados. Uno de los resultados finales es que el instrumento de aprendizaje mismo cambia como consecuencia de las interacciones entre el organismo y el medio ambiente. El aprendizaje no sólo modifica la base de conocimiento para una determinada máquina computacional, sino que modifica la arquitectura computacional interna misma. Así pues, el medio ambiente lingüístico y el medio tecnológi-

co en los que el cerebro humano crece y se desarrolla están situados en un equilibrio que les permite funcionar como los puntos de anclaje en torno a los cuales se adaptan y encajan esos recursos neuronales enormemente sensibles.

Quizá, entonces, sea un error postular que la "naturaleza humana" está biológicamente fijada, y que a modo de simple revestimiento existen a su alrededor unas herramientas y una cultura, pues la cultura y las herramientas son tanto determinantes de nuestra naturaleza como productos de ella. Nuestros cerebros son (por naturaleza) excepcionalmente plásticos, y su correcto funcionamiento biológico ha requerido siempre la incorporación y el aprovechamiento de puntales y plataformas no biológicos. Más aún que ninguna otra criatura del planeta, nosotros, los humanos, emergemos como ciborgs natos, salidos de fábrica perfectamente a punto y preparados para poder desarrollarnos como extensas arquitecturas cognitivas y computacionales: arquitecturas cuyas fronteras sistémicas exceden con mucho las de piel y el cráneo.

Todo esto añade una interesante complejidad a esas explicaciones de la psicología evolucionista que hacen hincapié en la importancia de nuestros entornos ancestrales, pues ahora debemos tomar en consideración ese revestimiento evolutivo excepcionalmente plástico que da lugar a un blanco en continuo movimiento, a una extendida arquitectura cognitiva cuya constancia radica principalmente en su continua apertura al cambio. Incluso otorgando que las innovaciones biológicas que pusieron todo el proceso en marcha tal vez no fueran más que una serie de pequeños ajustes a un repertorio ancestral, el resultado final de esta sutil alteración es un súbito y enorme salto en el espacio cognitivo-arquitectónico. Nuestra maquinaria cognitiva está intrínsecamente orientada en este momento hacia la transformación, la expansión basada en la tecnología, y un proceso de creciente y autoperpetuador de-

sarrollo de la computación y la representación. La maquinaria de la razón humana contemporánea está biológicamente arraigada en una dinámica de desarrollo progresivo, mientras simultáneamente tiene una existencia al otro lado de un escarpado precipicio, en el espacio cognitivo-arquitectónico.

En suma, el proyecto de comprender el pensamiento y el razonamiento humanos muy a menudo tiende a interpretarse mal. Se interpreta erróneamente como el proyecto de comprender qué tiene el cerebro humano de especial. No hay duda de que nuestros cerebros *tienen* algo de especial. Pero comprender nuestro peculiar perfil de razonadores, pensadores y conocedores de nuestros mundos requiere una perspectiva aún más amplia: una que se centre en múltiples cerebros y cuerpos que operan en ambientes especialmente construidos y repletos de artefactos, símbolos externos y toda clase de variegados andamiajes de la ciencia, el arte y la cultura.

Comprender qué es tan característico de la razón humana implica comprender las contribuciones complementarias tanto de la biología como (en líneas generales) de la tecnología, así como las densas pautas de recíproca influencia causal y coevolutiva que actúan entre ellos. No podemos vernos bien a nosotros mismos hasta que nos veamos como auténticos ciborgs de la naturaleza: híbridos cognitivos que repetidamente ocupan regiones de un espacio diseñado en exclusiva, radicalmente distintas de aquéllas de nuestros antepasados biológicos. La tarea más ardua, por supuesto, es la de transformar todo esto que ahora es meramente un esbozo impresionista en una equilibrada explicación científica de la mente extendida.

MENTES ANIMALES

MARC D. HAUSER

En mis propios trabajos de investigación hemos empezado a observar las clases de computaciones de las que son capaces los animales y los infantes humanos cuando interactúan con el mundo físico y social. Queremos comprender cómo evolucionaron dichas capacidades y de qué modo constriñen el pensamiento.

MARC D. HAUSER, neurocientífico cognitivo, es profesor de psicología y del laboratorio de neurociencias en la Universidad de Harvard, así como director del Programa *Mind, Brain and Behaviour* [Mente, cerebro y conducta]. Es autor de *The Evolution of Communication*; *Wild Minds* [*Mentes salvajes*], y dos libros de próxima aparición: *People, Pets, or Property?*, y *Ought: The Inevitability of a Universal Moral Grammar.*

Algunos de los problemas que venimos tratando en las neurociencias y ciencias cognitivas tienen que ver con el estado inicial del organismo. ¿Con qué equipamiento llegan los animales, incluidos los seres humanos, a este mundo?¿De qué herramientas mentales disponen para afrontar los problemas del mundo físico y social? Existe en las neurociencias cierta ilusión de que hemos empezado a comprender verdaderamente cómo funciona el cerebro. Noam Chomsky, en una reciente conferencia titulada "El lenguaje y el cerebro", advertía a los neurocientíficos sobre lo poco que sabemos del cerebro, especialmente cuando se trata de comprender cómo procesa el lenguaje.

He aquí la idea con la que jugó Chomsky, que creo que es correcta y que forma parte esencial del enfoque que adopto en mis investigaciones. Al observar cualquier sistema cognitivo, uno desea hacer tres preguntas: la primera es qué constituye el conocimiento en un ámbito particular, tal como el lenguaje,

la música o la moralidad; la segunda, cómo se adquiere ese conocimiento, y la tercera, cómo se emplea ese conocimiento en el mundo. Tomemos un sistema muy simple que es excelente para una clase de computación basada en un conocimiento particular del mundo: la abeja. Este pequeño insecto, de diminuto cerebro y sistema nervioso muy simple, es capaz de transmitir información a su colonia sobre dónde ha estado y qué ha comido, y esa información es lo bastante precisa como para que los miembros de la colonia puedan salir y encontrar el alimento. Sabemos que ese tipo de información está codificado en la señal, pues así se ha descubierto por medio de una abeja robot, programada para danzar de determinada manera y reproducir la conducta real de las abejas; se puede dejar caer este robot en medio de una colonia, hacer que empiece a danzar al estilo de contradanza propio de las abejas, y los miembros de la colmena recogerán la información y saldrán volando hacia el lugar indicado. Pero cuando uno da un paso atrás y pregunta qué sabemos sobre cómo representa el *cerebro* de la abeja esta información, la respuesta es que apenas sabemos nada. Nuestra comprensión del modo como el cerebro de una abeja representa su danza –es decir, su lenguaje– es muy pobre; y eso que estamos hablando de un sistema nervioso relativamente simple, sobre todo si lo comparamos con el sistema nervioso humano. Ahora bien, esta conclusión de ningún modo quita valor al progreso realizado por los investigadores en cuanto a documentar el conocimiento que las abejas tienen del mundo, cómo lo adquieren y cómo lo utilizan. Lo que falta, o al menos lo que no se ha logrado aún comprender, es cómo representa el cerebro de la abeja eso que sabe, y cómo obtiene y utiliza el cerebro esta información.

La cuestión fundamental para Chomsky es que cuanto sabemos sobre el modo como el cerebro humano representa el lenguaje es, en cierto nivel, trivial. Los neurocientíficos han he-

cho grandes progresos: ahora sabemos qué áreas del cerebro, al sufrir un daño, eliminan determinados aspectos de la facultad del lenguaje; por ejemplo, cuando una parte concreta del cerebro resulta dañada, esto supone la pérdida de la representación de consonantes, mientras que la lesión de una parte distinta supone una pérdida de la representación de vocales. Sin embargo, sabemos relativamente poco sobre cómo representa el sistema de circuitos del cerebro las consonantes y las vocales. El abismo entre la actual comprensión neurocientífica del cerebro y la comprensión de representaciones tales como el lenguaje es inmenso.

Una cuestión relacionada con esto es cómo evolucionaron las computaciones internas y los mecanismos subyacentes a la adquisición de conocimientos. Consideremos una vez más el lenguaje. Podemos preguntar si otros animales tienen al igual que nosotros esta facultad. En caso de no ser así, ¿es porque carecen de las computaciones internas, o por limitaciones que residen fuera de la facultad del lenguaje en sí misma, tales como una memoria o una capacidad de imitar insuficientes? En los primates, los lóbulos frontales del cerebro, que desempeñan un papel en el almacenamiento a corto plazo de las representaciones, han experimentado a través del tiempo un enorme cambio. Esto significa que nuestros parientes vivos más cercanos, los monos, probablemente carecen de las estructuras neuronales que les permitirían realizar el tipo de computaciones que son necesarias para procesar el lenguaje, incluida la de tener presente una larga serie de palabras para poder procesar significados. En mis propios trabajos de investigación hemos empezado a observar las clases de computaciones de las que son capaces los animales y los infantes humanos cuando interactúan con el mundo físico y social. Queremos comprender cómo evolucionaron dichas capacidades y de qué modo constriñen el pensamiento.

Siempre que la naturaleza ha creado sistemas aparentemente abiertos y generativos, éstos han empleado una discreta serie de elementos capaces de recombinarse. La pregunta que uno puede hacerse en el campo de la biología es qué clases de sistemas son capaces de realizar esos tipos de procesos computacionales. Muchos organismos parecen ser capaces de realizar sencillas computaciones estadísticas, tales como la de calcular las probabilidades condicionadas que se centran en relaciones de dependencia locales: *Si A, entonces B*. Al parecer, multitud de animales son capaces de esto. Pero cuando ascendemos al siguiente nivel de la jerarquía computacional –el que precisa de la utilización de recursos–, encontramos serias limitaciones entre los animales y los infantes humanos. Por ejemplo, un animal capaz de deducir *Si A, entonces B* tendría gran dificultad en resolver *Si A con respecto a n, entonces B con respecto a n*. Ahora nos encontramos ante un bucle, una regla que se remite a sí misma y genera una gama relativamente ilimitada de expresiones. Si los animales carecen de esta capacidad, como todo indica, entonces hemos identificado una restricción evolutiva. Los seres humanos han desarrollado la capacidad de recursión, computación enormemente liberadora para el ser humano, que nos permite hacer uso de las matemáticas además del lenguaje. Y este sistema de tomar elementos discretos y volverlos a combinar es lo que confiere a la genética y a la química su estructura abierta. Dadas estas pautas, las preguntas interesantes son: ¿Qué presiones selectivas hicieron que se desarrollara un sistema recursivo? ¿Por qué son los seres humanos aparentemente los únicos organismos del planeta, el único sistema natural, con esta capacidad? ¿Cuáles fueron las presiones que lo determinaron?

En cuanto a la inteligencia artificial, ¿qué clases de presiones impuestas a un sistema artificial lo llevarían a ese punto final? Una interesante cuestión, tanto para los sistemas bioló-

gicos naturales como para los sistemas artificiales, es si unos y otros pueden encontrarse. ¿Qué clases de presiones hacen que se desarrolle la capacidad para la recursión? La biología comparativa no aporta en la actualidad ninguna pista que sea de ayuda, porque tenemos simplemente dos puntos finales: el que los seres humanos la han desarrollado, y el que otros organismos aparentemente no. Esta transición evolutiva está todavía poco clara.

Las grandes preguntas que me planteo son aquéllas para las que no tenemos respuesta; preguntas como: «¿Por qué es el *Homo sapiens* la única especie de la que brotan lágrimas cuando llora?». Las emociones que provocan lágrimas son comunes a los seres humanos y a los animales; sin embargo, nosotros somos la única especie que genera un producto físico de esas emociones. Si observamos el acto de llorar desde una perspectiva evolutiva, lo cual no se ha hecho realmente, uno empieza a obtener algunas respuestas. A diferencia de todas las demás expresiones emotivas, llorar deja un largo rastro físico. Nubla la vista, y por lo tanto es costoso. También es muy difícil de fingir. Lo que esto sugiere es una idea que el biólogo evolutivo Armotz Zahavi propuso hace ya muchos años: las señales que son costosas de producir son señales sinceras; al encontrarnos ante una señal, es posible inferir su sinceridad basándonos en el coste que implica expresarla. El llanto es potencialmente una de ellas; incluso los actores necesitan experimentar realmente el sentimiento antes de poder generar su expresión, y aun entonces es difícil hacerlo con naturalidad. Sabemos que los animales experimentan tristeza; si experimentan alegría es difícil de decir, pero sin duda tienen la clase de emociones que acompañarían el llanto con lágrimas, pese a no tener esa conexión en el cerebro. No es que no tengan capacidad de generar lágrimas, pues las generan si tienen los ojos físicamente irritados; la cuestión es que carecen de

cierta conexión neuronal entre el estado psicológico que hay detrás de la emoción y y el sistema que crea las lágrimas. Decir que no tienen esa conexión en el cerebro es una respuesta en un solo nivel de análisis, el nivel mecánico, a la pregunta: ¿qué mecanismos cerebrales apoyan el llanto? Es más interesante adoptar el enfoque evolucionista y preguntar por qué lloramos con lágrimas y otros animales no lo hacen. Y la respuesta es que el llanto es una expresión que comunica sinceridad.

Durante estos últimos años he empleado las herramientas teóricas de la biología evolutiva para formular preguntas sobre cómo están diseñadas las mentes de los animales. La propuesta que vincula el medio ambiente para la adaptación evolutiva con el período cazador-recolector del Plio-Pleistoceno quizá sea válida para algunos aspectos de la mente humana, pero es probablemente inadecuada para muchos otros. ¿Cómo navegan los organismos por el espacio? ¿Cómo reconocen lo que es un objeto? ¿Cómo enumeran los objetos en su entorno? Estos aspectos son probablemente comunes a una amplia variedad de animales. En vez de decidir que el ser humano evolucionó y fue moldeado durante el Plio-Pleistoceno, es más apropiado preguntar qué ocurrió en el Plio-Pleistoceno que pudiera haber creado en la mente humana una cualidad especial que en otros animales no existe.

He investigado hasta ahora diversos ámbitos del conocimiento y formulado preguntas sobre qué presiones selectivas determinaron la forma en la que piensan los distintos organismos. Intento mantenerme apartado de la forma habitual de pensar en los seres humanos, en la evolución humana y la cognición animal, cuya conclusión es que los seres humanos son únicos, y ahí se acaba la historia. *Todos* los animales son únicos, y lo verdaderamente interesante es cómo han dado forma a sus mentes los problemas sociales y ecológicos que su hábitat particular les ha obligado a afrontar. Así, por ejemplo, en

vez de afirmar que los seres humanos son únicos, preguntamos: ¿a qué presiones tuvo que hacer frente el ser humano que ningún otro animal afrontó y que crearon una selección para la evolución del lenguaje? ¿Por qué a otros organismos les basta con la clase de sistemas de comunicación que tienen? ¿Por qué desarrollamos los seres humanos la visión en color? ¿Por qué no lo hicieron otros organismos? ¿Por qué son capaces ciertos animales de navegar en el espacio con un sencillo mecanismo como el cálculo a ojo, mientras que otros animales necesitan tipos de maquinaria diferentes para poder arreglárselas en el espacio? ¿Por qué somos tal vez los únicos, o unos de los muy pocos, animales que tenemos la capacidad de hacer inferencias sobre lo que otra gente cree y desea?

Esta forma de abordar el estudio de animales y seres humanos aúna por primera vez ambas disciplinas y ofrece nuevos métodos comparativos. Entramos ahora en un período del estudio de la mente de los animales en el que podemos emplear las técnicas que en parte se han desarrollado durante el estudio de los seres humanos, sobre todo de los infantes humanos; y a la inversa, los científicos cognitivos que estudian a los seres humanos utilizan hoy día métodos desarrollados en el estudio de los animales. He aquí un caso: algunos investigadores que estudian el desarrollo cognitivo, tales como Susan Carey, Elizabeth Spelke y Renee Baillargeon, han puesto en práctica una nueva técnica para preguntar a los infantes humanos –quienes, por supuesto, carecen de un sistema lingüístico funcional– cómo piensan en el mundo. La técnica es sencilla –simplemente un poco de magia– y está basada en la idea de que cuando observamos espectáculos de magia, como los del gran Houdini, o David Copperfield, éstos nos absorben porque el mago crea contravenciones delante de nuestros ojos; al menos contravenciones respecto a las expectativas que generamos acerca del mundo físico. Por ejemplo, no se puede cor-

tar un cuerpo humano en dos y después volver a unirlo. Si la lógica de un espectáculo de magia o los efectos especiales de una película captan nuestra atención es precisamente porque nuestras expectativas resultan quebrantadas. Podemos por tanto preguntar qué expectativas traen al mundo los infantes o los animales no humanos sobre cómo deberían funcionar las cosas, y en qué medida alteran determinadas clases de ctativas específicas, entonces deberíamos ser capaces de crear un espectáculo de magia y captar su atención. Es de imaginar que mostrarían mayor interés en un espectáculo de magia que en una demostración equiparable que estuviera acorde con el modo como funciona el mundo.

Para ilustrar esto, consideremos el conocimiento del sistema numérico subyacente en las matemáticas. Imaginen un escenario vacío. De pronto, surge en medio de él una mampara que oculta el fondo. Un objeto se coloca detrás de la mampara, seguido de un segundo objeto –llamémosles Mickey Mouse 1 y Mickey Mouse 2. Nuestra representación mental es la de dos objetos Mickey Mouse. Cuando la mampara se retira, esperamos ver dos Mickey Mouse; si en lugar de eso vemos tres, o si vemos sólo uno, esto quebranta nuestras expectativas, puesto que no se añadió ni sustrajo nada de modo visible a lo que había tras la mampara. Y, de hecho, los infantes humanos de entre cuatro y cinco meses mirarán durante más tiempo cuando es ése el resultado, en vez de los dos objetos que aparentemente esperaban ver. Mis estudiantes y yo hemos hecho el mismo experimento con dos especies no humanas, de primates: los macacos rhesus que viven salvajes en la portorriqueña isla de Cayo Santiago, y los tamarinos de mi laboratorio de Harvard, y hemos hallado los mismos resultados exactamente que la psicóloga Karen Wynn obtuvo con los infantes humanos. Estos resultados suscitan la importante pregunta de si ciertos aspectos de nuestra capacidad numérica

–del conocimiento de los números– son innatos. La pregunta tiene relevancia para comprender los mecanismos que subyacen a los cambios evolutivos, y para comprender la relación que existe entre lenguaje y pensamiento. De hecho, dado que los animales carecen de lenguaje, los estudios de sus representaciones mentales ofrecen un método clarísimo para explorar bajo qué circunstancias es el lenguaje necesario para el pensamiento.

Los estudios realizados en infantes humanos y animales sugieren que la evolución dotó a estos organismos con dos mecanismos esenciales para los números: uno que permite diferenciar con exactitud los números pequeños, hasta alrededor del 4, y otro que permite una diferenciación aproximada de números más grandes. Lo que todavía no está claro es cómo trabajan estos dos mecanismos, y quizá otros, para crear un tipo de conocimiento numérico totalmente distinto, el tipo de conocimiento que yace bajo la aptitud del adulto. Basándonos en los últimos descubrimientos, podemos afirmar que ningún animal adquiere jamás la lista entera que es esencial a nuestro sistema de matemáticas. Si esta afirmación es cierta, necesitamos entonces preguntarnos por qué no tienen los animales y los infantes humanos esta clase de conocimiento. Sabemos que a partir de determinado momento los seres humanos son capaces de hacer cálculos matemáticos, complejas operaciones bancarias, la declaración de la renta..., y que los no humanos no lo son. ¿Qué ocurre, en el curso del desarrollo, que separa a una criatura humana de una no humana? Si logramos identificar el punto de divergencia, veremos qué capacidad cognitiva subyacente al conocimiento adulto de los números se desarrolló en el infante y no evolucionó en los animales no humanos. Si identificamos las similitudes además de las diferencias, empezamos a ver un patrón evolutivo único en nuestra especie y en la de otros.

Uno de los aspectos más novedosos de mi trabajo es que, a diferencia de otros investigadores que limitan sus estudios a animales de una sola especie, ya sea en su hábitat salvaje o en cautividad, yo he adoptado al menos cuatro enfoques distintos para averiguar qué saben los animales, qué piensan y cómo lo representan.

En primer lugar, están los trabajos de campo. Me adentro en la naturaleza para comprender qué tipo de problemas influyeron en el diseño del cerebro de los animales en su hábitat natural. Observar lo que hacen los animales nos dice realmente qué problemas se ven obligados a resolver sus cerebros. (La misma lógica es aplicable a los seres humanos, por supuesto, y es una de las razones por las que el estudio de la mente humana no debería estar restringido a las investigaciones de laboratorio; necesitamos imaginar a qué tipos de problemas tuvieron que hacer frente los seres humanos para poder comprender cómo esculpieron nuestras mentes las fuerzas medioambientales.) Por ejemplo, las investigaciones que realicé en Puerto Rico muestran que los monos rhesus emiten gritos de diferente intensidad para referirse a distintos tipos de alimento. Esto sugiere no sólo que son capaces de emitir sonidos que transmiten algo acerca de sus emociones, su estado de motivación y sobre el tipo o cualidad de los alimentos, sino también que hacen claras diferenciaciones entre objetos. Podemos preguntar cómo hacen esas distinciones, cómo almacenan ese conocimiento y cómo lo adquieren. Después podemos explorar, con experimentos concebidos de modo que puedan aplicarse al comportamiento de los animales salvajes, cómo representan su conocimiento de los alimentos y cómo emplean este conocimiento para comunicarse con los demás.

Así es que sobre el terreno observo lo que los animales hacen de modo natural, y luego regreso al laboratorio, donde tenemos mayor control sobre los experimentos, y formulo pre-

guntas específicas sobre sus capacidades cognitivas. En el laboratorio vemos que los animales aparentemente son capaces de distinguir entre toda clase de objetos dentro de su mundo, y preguntamos qué características son relevantes para hacer ese tipo de distinción. Contamos en este momento con treinta años de estudios que muestran que los animales utilizan herramientas para extraer comida de su entorno, pero lo que ninguno de estos estudios han mostrado es la clase de representaciones que los animales asignan a la tarea de utilizar esas herramientas. He aquí la cuestión: como seres humanos, sabemos que ciertas características de una herramienta son relevantes para la herramienta, y otras son irrelevantes. Por ejemplo, la mayoría de los lavavajillas son blancos, pero si entramos en una cocina y vemos un lavavajillas con los colores del arco iris, no decimos: «¡Ese lavavajillas es una porquería! ¿Cómo vamos a lavar los platos en ese trasto?». Sabemos que el color es irrelevante en cuanto a si el lavavajillas es bueno o no. Cuando vemos que los animales en su hábitat natural –pongamos por caso a los chimpancés– usan piedras para cascar nueces, la pregunta entonces es: si colocamos ante ellos una piedra y un mazo, ¿verán que el mazo está mejor diseñado para la tarea que la piedra? ¿Preferirán el mazo? ¿Se darán cuenta de que si pintamos la piedra de rojo eso no cambiará en absoluto su funcionalidad? En el laboratorio hemos manipulado sistemáticamente todas las características de los objetos, tanto las relevantes como las irrelevantes, para ver si los animales toman una decisión basándose en esas características, y hemos descubierto que, de hecho, son bastante sensibles a las características relacionadas con la funcionalidad del objeto e ignoran las diferencias que no influyen para nada en la realización de la tarea. Su conocimiento, en esencia, no es una cadena de asociaciones, sino una serie de principios para organizar diferentes ámbitos del conocimiento.

Un tercer paso en este programa de investigación es llevar estas cuestiones a un nivel más neurofisiológico. En colaboración con neurocientíficos de todos los Estados Unidos y también de otras naciones, hemos empezado a hacer experimentos para averiguar cómo decodifica el cerebro de los monos rhesus, concretamente, la información sobre sus vocalizaciones. Sirviéndonos de grabaciones de neuronas en las diversas áreas auditivas del cerebro, reproducimos vocalizaciones de su repertorio para ver cómo decodifica su sistema nervioso esa información. Se trata de un trabajo relativamente nuevo; desde hace ya bastante tiempo, hemos obtenido una increíble cantidad de conocimientos sobre la neurobiología de la visión utilizando como modelo a estos monos, pero apenas se ha conseguido nada en cuanto a la función auditiva. Sigue siendo una limitación para comprender la evolución del lenguaje y del habla el carecer de conocimientos sobre la neurobiología que subyace a este sistema extraordinariamente complejo. Hay una larga historia de investigaciones de esta clase realizadas en insectos, aves, ranas y murciélagos, pero prácticamente ninguna en primates, nuestros parientes vivos más cercanos. Disponemos ahora por primera vez de las herramientas para investigar cómo codifican y decodifican las vocalizaciones los cerebros de los primates no humanos.

El cuarto paso son los estudios comparativos a los que aludo, en los que hacemos los mismos experimentos con animales que hacemos con infantes humanos, empleando, por ejemplo, las técnicas del quebrantamiento mágico para explorar el tipo de representaciones que unos y otros asignan a la tarea de la enumeración.

Así es que nuestro método para comprender el diseño de los cerebros de los animales es una aproximación desde cuatro flancos: del trabajo de campo al laboratorio, pasando después al nivel neurofisiológico, y comparando finalmente a

los animales con los infantes humanos para establecer conexiones entre los procesos de desarrollo y los procesos evolutivos.

Con este enfoque podemos abordar las preguntas que obsesionan a la mayor parte del público lego: ¿tienen inteligencia los animales?; ¿son los perros más listos que los gatos?; ¿los delfines más que las palomas?; ¿son los chimpancés más inteligentes que los delfines?; ¿somos nosotros más inteligentes que esas especies? Y si lo somos, ¿cuándo nos volvimos más inteligentes? Éstas no son preguntas adecuadas. Una clase de pregunta más fructífera es la que quiere averiguar primero a qué tipo de problemas han de hacer frente los animales para sobrevivir, y luego, cómo resuelven esos problemas. ¿Qué conocimiento les es necesario para poder navegar, aparearse, vencer en una lucha, engañar, aprender, comunicarse, etcétera? Cada especie es inteligente a su manera. La verdadera cuestión, creo yo, no es preguntarse si los animales son inteligentes, si piensan, sino el formular preguntas más específicas, preguntas a las que es posible dar respuesta, como: ¿son capaces los animales de recordar cosas? Y si lo son, ¿hasta qué punto del pasado alcanza su memoria? ¿Tienen recuerdos de cómo eran de pequeños? ¿Pueden aprender los animales las propiedades abstractas del mundo? Y si es así, ¿para qué necesitan aprenderlas? Éstas son preguntas a las que, con las herramientas de la ciencia, podemos responder. Si uno después quiere pensar que, dadas sus capacidades, ciertos animales son inteligentes, ¡adelante! Si quiere pensar que los animales emplean para comunicarse unos medios y esos medios parecen un lenguaje, ¡adelante también! Pero no deberíamos perder de vista las diferencias entre las especies, y esto incluye sobre todo las diferencias entre los seres humanos y los animales. No digo esto como argumento con el que defender nuestra singularidad; lo digo para dirigir la atención hacia el hecho de que, a pesar

de las numerosas similitudes que hay entre el ser humano y otros animales, las diferencias son también de interés, puesto que indican cómo investigar la clase de mecanismos que han debido evolucionar en el pasado hasta hacer posible nuestro particular estilo de comunicación, nuestra particular representación del mundo. Consideremos, por ejemplo, nuestra capacidad de hacer referencia a las cosas que nos rodean; es decir, puedo hablar de una silla, hablar de mi pasado, del futuro, en todos los casos de un modo muy abstracto. ¿Tienen esa capacidad los animales? Si la tienen, entonces esa capacidad recuerda mucho a un componente fundamental de nuestra facultad del lenguaje. Podemos tomar este enfoque general y aplicarlo a otras facultades o ámbitos del conocimiento. Podemos preguntar: ¿tienen los animales emociones morales?; ¿son capaces de sentir empatía?; ¿se sienten culpables?; ¿sienten vergüenza?; ¿son leales?; ¿tienen los animales capacidad de cooperación?; ¿establecen relaciones de altruismo mutuo? Son preguntas difíciles de responder, pero podemos al menos intentar hacer algún progreso, y en algunos casos el avance ha sido muy grande. Por consiguiente, no pregunto si los animales piensan; no pregunto si son inteligentes; formulo preguntas relativas a mecanismos cognitivos específicos que podemos identificar en los seres humanos, tanto en los infantes como en los adultos. De modo similar, mis estudiantes y yo tratamos de averiguar cómo resuelven sus problemas los animales, independientemente de que lo hagan como los seres humanos o no. Una biología eficaz, como subrayó Darwin, es una biología comparativa.

Y bien, ¿por qué tenemos interés en responder a todo esto? Hay mucha gente que quiere a sus animales y piensa que sus perros son auténticas lumbreras, y yo quiero mostrar a esa gente que no deberían sentirse satisfechos con esa simple noción intuitiva. A menudo nuestras intuiciones no son una guía váli-

da para saber lo que pasa dentro de un animal, lo mismo que no lo son para saber cómo piensan en el mundo los infantes humanos. Uno de mis objetivos es hacer que la ciencia sea más palpable y menos controvertida. Muchas personas abordan a los científicos que estudian el mundo animal para hablarles de lo que sus animales de compañía hacen o no hacen; le cuentan a uno: «Mi perro acaba de hacer algo fascinante. Lo dejé en un lugar, a seis horas de casa, y encontró el camino de vuelta. ¿No es increíble?». Bueno, lo es y no lo es. No lo es, porque se trata de una sola observación aislada, y con una sola observación no podemos hacer demasiado. No es que los científicos consideren que una observación sola es irrelevante; lo que ocurre es que una observación sola, sea cual fuere, no es lo bastante satisfactoria. Por eso quiero dejar claro a las personas que se interesan por los animales que ellas tampoco deberían quedarse satisfechas. Puedo ilustrar lo que digo con una experiencia personal que tuve con un animal y que estimuló en mí nuevas preguntas, y quisiera que el público lego sintiera avivarse del mismo modo su mismo interés al leer estas observaciones.

Siendo estudiante universitario, trabajé en una atracción turística de Florida llamada "La jungla de los monos". Mi ocupación era darles de comer. Pero yo era bastante pobre y necesitaba ganar más dinero, así que decidí hacer un trabajo suplementario, que consistía en rastrillar todo lo que caía bajo las jaulas. Un día advertí que un mono araña –especie que habita las selvas de Sudamérica– me observaba fijamente mientras rastrillaba. No pensé que pudiera estar tan interesada en la actividad concreta de rastrillar, e imaginé por tanto que su interés debía de estar dirigido a mí. La mona tenía un compañero que no le prestaba demasiada atención. Dejé el rastrillo y me acerqué a su jaula. Al aproximarme, ella se aproximó, y se sentó frente a mí. Me miró a los ojos; sacó los brazos a través de

los barrotes, se abrazó a mi cuello y me arrulló. Pasó así bastante rato, varios minutos. Entonces se aproximó su compañero; ella me soltó, lo golpeó en la cabeza, y volvió a rodearme el cuello con los brazos. Ya imaginarán ustedes todo lo que puede pasársele a uno por la cabeza durante una experiencia así: uno está realmente conectado con el animal; el animal está enamorado de uno; o tal vez quería que uno le diera más comida; quizá el cuidador anterior había entrenado a la mona para que se comportara de este modo; o quizá la mona intentaba dar celos a su compañero: «Ándate con ojo, ¡nuevo chico en escena!». Cabía toda clase de posibilidades, y es interesante tratar de ir reduciéndolas. Simples experimentos: si fuera otra persona la que rastrillara el recinto, ¿tendría la mona el mismo comportamiento? Y ¿qué pasaría si esa persona fuera una mujer?; ¿y si fuera un niño? ¿Qué pasaría si fuera un anciano? Éste era el tipo de preguntas que uno podía formular a fin de eliminar algunas de las posibilidades. Y si soy precisamente yo, ¿por qué yo?; ¿se debe a algo relacionado con mi conducta?; ¿algo en mi aspecto físico?; ¿algo acerca de mi olor?; me cambiaré de ropa; ¿será algo que tiene que ver conmigo vestido con determinada ropa? Llevaba la misma ropa cada día, así es que rápidamente se podían eliminar muchas posibilidades carentes de interés y reducir la pregunta a algunas de verdad interesantes.

Los filósofos suelen utilizar ejemplos de animales para mostrar lo difícil que es comprender las representaciones y pensamientos de las criaturas que no tienen la facultad del lenguaje. Algunos filósofos aseguran que si el lenguaje está ausente no puede haber pensamiento. Si eso es verdad, nos encontramos en un aprieto a la hora de intentar comprender el pensamiento animal, y hay quien afirmaría que la empresa entera está abocada al fracaso. Sin embargo, existe un largo historial de investigaciones con seres humanos en las que se han desa-

rrollado tareas para determinar qué es lo que piensan cuando hay una ausencia de lenguaje –se han realizado muchísimos estudios a infantes humanos, que están aún por expresar su habilidad lingüística. Lo que yo diría al respecto es que algunas de las cuestiones más profundas relacionadas con la mente humana sólo pueden abordarse mediante el estudio de los animales. Y baso mi afirmación en tres razones:

A los investigadores que sostienen que un determinado tipo de pensamiento depende del lenguaje, querría hacerles ver que la única especie en la que puede ponerse a prueba esa hipótesis son los animales, y no los infantes humanos, quienes, aunque todavía no han desarrollado su competencia en el lenguaje, no obstante tienen un cerebro que evolucionó hasta ser apto para el lenguaje, y que, por tanto, es inadecuado para tales pruebas. Los enfermos con lesiones cerebrales que no producen o comprenden el lenguaje no son sujetos apropiados tampoco, puesto que sus cerebros se desarrollaron con el lenguaje. Si uno está interesado en la conexión entre lenguaje y pensamiento, debe poner a prueba esa hipótesis en otras especies. En nuestro laboratorio, y en el trabajo de campo realizado junto con científicos como Dorothy Cheney y Robert Seyfarth, hemos estudiado a los primates no humanos y a otros animales para ver si tienen capacidad para los tipos de pensamiento que al parecer necesitan del lenguaje; y cada vez son más las airosas demostraciones de dichos pensamientos y capacidad de representación sin que exista el lenguaje.

Son muchos los que insisten en la especial naturaleza de los procesos de pensamiento característicos del ser humano. El debate comenzado en los años sesenta se centró en los mecanismos especiales que subyacen al habla. Se afirmaba, por ejemplo, que nuestra capacidad de hacer distinciones categóricas entre fonemas como *ba* y *pa* se debe a uno de dichos mecanismos. La primera persona en refutar esta teoría fue Patri-

cia Kuhl en la Universidad de Washington. Los experimentos que había realizado con chinchillas y macacos mostraron que, ante los mismos estímulos, estos animales tienen exactamente las mismas capacidades perceptivas que los seres humanos. Sus estudios han iniciado un programa de investigación cuyo objetivo es identificar si algún mecanismo en particular es exclusivo del ser humano. La única forma de responder a cualquiera de esas afirmaciones es mediante el estudio de los animales.

La tercera razón, con la que más familiarizados están los psicólogos y neurocientíficos, es la idea de que ciertas clases de experimentos son, o inmorales, o demasiado difíciles de poner en práctica con seres humanos, pero pueden llevarse a cabo con animales. Aunque la cuestión ética es por lo general predominante en este debate, es igual de importante considerar la logística: tenemos posibilidad de experimentar mejor con animales por el nivel de control que las circunstancias permiten, los tipos de estímulo que se emplean, y el estudio a largo plazo de individuos aislados. Los estudios de animales a largo plazo –tales como los de Jane Goodall con chimpancés y los de Cynthia Moss con elefantes– nos han ofrecido una trayectoria de treinta años en las vidas de criaturas fascinantes y notablemente sociales. Sería difícil aplicar esos mismos estudios a sujetos humanos.

Por todas estas razones, los estudios de animales han empezado ya a desempeñar un papel cada vez más importante en las ciencias y neurociencias cognitivas. Nuevas técnicas nos permiten identificar conductas animales que son indicio de cómo piensan en el mundo, y el avance teórico que hemos realizado es el de unir de un modo nuevo la teoría evolutiva y una serie de modernas ideas de la ciencia cognitiva. Uno de los problemas de la psicología evolucionista es que se ha centrado únicamente en seres humanos. En términos generales, la psi-

cología evolucionista lleva operando desde los tiempos de Darwin, quien formuló preguntas acerca de la mente con la mirada puesta en los principios evolutivos. Lo que vemos tomar forma en este momento es la materialización de la intuición original de Darwin: que es posible aunar la teoría evolucionista con las ciencias cognitivas tal como se aplican al estudio de la mente animal.

Planteamos preguntas sobre el diseño del cerebro, el diseño de los estados mentales, a medida que observamos cómo la conducta social y la ecología han moldeado esos procesos. Recientemente, por ejemplo, nuestro interés se ha centrado en un ámbito del conocimiento animal al que podríamos llamar física "ingenua". ¿Hasta qué punto hacen los animales predicciones intuitivas sobre los objetos físicos basándose en la física del mundo? Hemos concebido un método experimental, inspirado en los estudios realizados con niños, que consiste en dejar caer una pelota en un tubo opaco con forma de S. Lo mismo los monos que los niños esperan ver aparecer la pelota justo debajo del orificio por el que se dejó caer, no por el otro extremo del tubo. Al parecer, toman en consideración la gravedad como elemento de predicción para decidir, lo cual indica lo enormemente difícil que les resulta a los niños y a algunos animales reprimir una fuerte tendencia que ha sido seleccionada basándose en las regularidades del mundo. La gravedad es una regularidad a la que hacen frente todos los animales de la Tierra. Creo que esa selección favoreció el que los cerebros puedan, de modo innato, hacer predicciones en relación con la caída de objetos; y debido a este sentido innato, a los animales les resulta difícil desestimar su intuición cuando la evidencia la contradice.

¿Por qué no son capaces los animales de localizar correctamente un objeto que cae a través de un tubo curvado? Es decir, ¿por qué no son capaces de inhibir sus tendencias y bus-

car el objeto en un lugar diferente? Actualmente sabemos, por diversos estudios sobre la evolución del cerebro, que las partes frontales de nuestro cerebro han experimentado cambios extraordinarios durante los últimos 5 o 6 millones de años. La región frontal de nuestro cerebro es aproximadamente 200 veces mayor que la de los primates no humanos de nuestro tamaño. En los seres humanos, ésa es la parte del cerebro de la que depende el funcionamiento de la memoria a corto plazo y donde se produce el bloqueo o inhibición de respuestas repetitivas; por ejemplo, cuando chocamos con una puerta porque no nos habíamos dado cuenta de que estaba cerrada, no repetimos ese error una y otra vez. Tenemos un mecanismo en la región prefrontal especialmente diseñado para impedir esa clase de acciones, un mecanismo que no evolucionó de modo significativo en muchas especies no humanas. Lo que hace que este modo de abordar los estudios de animales sea tan valioso es que los vincula con los estudios del cerebro humano, creando una conexión íntima entre los pensamientos y los mecanismos neuronales que hay detrás de ellos.

Son varios los sectores de científicos que, explícita o implícitamente, están en desacuerdo conmigo. Aquellos investigadores formados principalmente en la tradición skinneriana consideran que algunas de las nuevas técnicas que hoy día empleamos para el estudio de la cognición animal son poco detalladas y perspicaces. Después, entre las personas dedicadas al estudio de la cognición humana, empieza a haber partidarios de los nuevos enfoques, pero nuestro trabajo les resulta fastidioso porque les obliga a reconsiderar sus aseveraciones sobre la singularidad del ser humano. Otro sector, que trabaja con chimpancés, se siente un tanto molesto ante el hecho de que los monos que nosotros estudiamos presenten capacidades comparables a las de los chimpancés. Esta clase de chovinismo jerárquico se extiende todo a lo largo del árbol de la

vida; hay en el seno de la comunidad científica dedicada a la investigación animal un chovinismo que sostiene que el trabajo de quienes estudian a los chimpancés es mucho más importante que el de quienes estudian a otros monos.

Tengo la esperanza de que, entre los próximos diez y quince años, nuestras investigaciones, por el hecho de contemplar el problema de la cognición desde una amplia variedad de perspectivas y diferentes niveles de análisis, demostrará que el interés en la mente humana exige un interés en la teoría evolutiva. Demostrará que la teoría de la evolución nos permite hacer novedosas predicciones sobre la mente, y que de verdad podemos casar los estudios de la cognición animal con las neurociencias. Los neurocientíficos tienden en gran medida a ignorar las importantes variaciones que existen entre las especies; y así, por ejemplo, cuando trabajan con los monos rhesus, hablan de "el mono". Existen varios cientos de especies de primates, y sin embargo los neurocientíficos desdeñan este hecho. Nuestro trabajo empezará a invalidar este punto de vista, que es común y dominante en las neurociencias; esperamos poder convencer a la comunidad neurocientífica de que la variación es maravillosa, la joya de la biología, la joya de Darwin. Si uno quiere de verdad conocer el diseño de la mente, las variaciones entre las especies son del mayor interés. Como científicos, tenemos una misión común: averiguar cómo dio lugar la evolución a diferentes formas de pensar; y al observar las variaciones, vemos cómo la selección natural actúa esculpiendo distintos tipos de mente.

LA EVOLUCIÓN DE LA COCINA

RICHARD WRANGHAM

A mucha gente le resulta difícil vivir con la idea de que nuestra especie tiene a la espalda una historia natural de violencia. Ahora bien, si consideramos que somos animales, está claro que la selección natural ha favorecido que haya en el hombre emociones que le predisponen a disfrutar de la competición, a disfrutar de que otros estén subordinados a él, a disfrutar incluso de matar a otros hombres. Son ideas que cuesta aceptar; por eso hay quienes afirman que no es apropiado escribir acerca de semejantes ideas y buscan modos de atenuar la evidencia. Lo que parecen temer es que, si llega a reconocerse que en nuestra conducta violenta existe un componente biológico, puede que la violencia se considere entonces inevitable.

RICHARD WRANGHAM, profesor de antropología biológica en la Universidad de Harvard, estudia a los chimpancés en Uganda con vistas a esclarecer la evolución y la conducta humanas. Una de sus ideas fundamentales es que deberíamos apreciar el gran valor de los paralelismos entre los seres humanos y otros grandes simios, puesto que nos ayudan a comprender nuestra propia conducta. «Pese a nuestra conciencia de la propia identidad, los seres humanos continuamos rigiéndonos por leyes naturales», apunta. Wrangham es, junto con Dale Peterson, autor de *Demonic Males* [*Machos demoníacos*].

Servirse de la biología para analizar el comportamiento humano es como acudir al psiquiatra y recibir ayuda para comprender de dónde nace la propia conducta; y en cuanto uno empieza a comprender lo que está haciendo, su conflicto interior cede en buena medida, y uno es capaz de moldear su conducta con más acierto. Pero no siempre es ésta la reacción. A mucha gente le resulta difícil vivir con la idea de que nuestra especie tiene a la espalda una historia natural de violencia. Ahora bien, si consideramos que somos animales, está claro que la selección natural ha favorecido que haya en el hombre emociones que le predisponen a disfrutar de la competición, a disfrutar de que otros estén subordinados a él, a disfrutar incluso de matar a otros hombres. Son ideas que cuesta aceptar;

por eso hay quienes afirman que no es apropiado escribir acerca de semejantes ideas y buscan modos de atenuar la evidencia. Lo que parecen temer es que, si llega a reconocerse que en nuestra conducta violenta existe un componente biológico, puede que la violencia se considere entonces inevitable.

Uno de los grandes principios de la biología conductual de las tres o cuatro últimas décadas ha sido que, si se cambian las condiciones medioambientales de un animal, se cambia el tipo de conducta provocada por éstas. Lo que el control genético de la conducta trata de mostrar es que los instintos no surgen ineludiblemente, con independencia de las circunstancias, sino que la serie de emociones que forma parte de nosotros se ajusta a una gama de circunstancias concretas. Las emociones particulares que afloren variarán dentro de una especie, pero variarán también dependiendo del contexto, y una vez que se conocen de cerca, es posible organizar el contexto adecuadamente. Una vez que se comprende y admite que los machos humanos en particular tienen una abominable predisposición a dejarse llevar por el entusiasmo, a consentir en la guerra, las violaciones o los impulsos asesinos, a sentirse estimulados por las oportunidades de involucrarse en interacciones violentas, es posible empezar a reconocerlo en uno mismo y hacer algo al respecto. Es mejor no esperar a que la experiencia nos diga que sería aconsejable tener un ejército permanente para protegernos de los vecinos, o que es necesario cuidar de que las mujeres no se vean expuestas al peligro de violadores potenciales. Es mejor prever estas cosas, reconocer el problema e idear una protección de antemano.

Hay todavía una enorme tendencia a infravalorar o simplificar las diferencias entre los sexos en cuanto a conducta y emociones. A medida que vayamos alcanzando una comprensión más realista del modo como la selección natural ha moldeado nuestra conducta, iremos dándonos cuenta cada vez más

de que la respuesta emocional de hombres y mujeres a una diversidad de situaciones puede ser muy distinta. Un ejemplo sorprendente es la medida en la que hombres y mujeres albergan ilusiones positivas acerca de sí mismos. Las mujeres, en general, tienden a crear una ilusión de sí mismas negativa, es decir, se consideran ligeramente menos habilidosas o competentes de lo que realmente son; mientras que los hombres tienden a albergar ilusiones positivas: exageran sus propias capacidades, si lo comparamos con cómo les ven otros o con los resultados que reflejan los test–. Estas tendencias dependen mucho de las relaciones de poder: si dentro de una relación de poder colocamos a una mujer en posición dominante, tenderá a crear una imagen positiva de sí misma; si colocamos a un hombre en una categoría de subordinación, generalmente creará una imagen negativa. De todos modos, estas tendencias, predecibles, son peligrosas. Si uno tiene ilusiones positivas, cree que su capacidad para la lucha es mayor que la real. Al parecer, la selección natural ha fomentado las ilusiones positivas en los hombres porque, de modo semejante a los largos caninos en el macho babuino, le confieren la capacidad de luchar mejor contra otros hombres que realmente creen en sí mismos. Uno ha de creer en sí mismo para ser capaz de luchar con eficiencia; si no es así, los demás se aprovecharán de su nerviosismo y falta de confianza. Cuando se empieza a entender el papel y funcionamiento de las ilusiones positivas, se puede contemplar un combate en el que cada una de las partes piensa que la victoria será suya y adoptar una postura un poco cínica al respecto, como un abogado que dijera a dos litigantes potenciales: «¡Vayan con cuidado!, ni los argumentos del uno ni del otro son tan concluyentes como cada uno de ustedes cree». Una valoración más sensible a estas predisposiciones emocionales genera una manera más refinada de tratar la prevención de la violencia.

Me gano la vida estudiando el comportamiento de los chimpancés en Uganda. Tengo interés en contemplar la cuestión de la evolución humana desde una perspectiva conductual, y encuentro que el trabajo con chimpancés me hace reflexionar seriamente a causa de la evidencia de que, hace 5, 6 o quizá 7 millones de años, el antepasado que dio origen al australopiteco, el grupo de simios que salió a las sabanas, era probablemente muy parecido a un chimpancé. Estar con los chimpancés en las selvas de Uganda, y en cualquier otra selva de África, es como entrar en la máquina del tiempo: nos permite reflexionar sobre los principios básicos que subyacen a nuestra conducta.

Aunque los seres humanos son muy distintos de los simios, en el trascurso de las dos o tres últimas décadas se ha descubierto un hecho extraordinario –que hoy resulta cada vez más claro– y es que, atendiendo a tres aspectos particularmente notables, la conducta social de los seres humanos tiene más semejanzas con la de los simios de las que cabría atribuir a la mera casualidad. Hay algo acerca de nuestra relación con los simios que ha sobrevivido. Por ejemplo, sabemos de tan sólo dos clases de mamíferos cuyos machos viven en grupos de machos emparentados entre sí, y ocasionalmente atacan a individuos o grupos vecinos con tal brutalidad que llegan a matarlos. Estas dos clases de mamíferos son los seres humanos y los chimpancés. Esto es extraño, y exige una explicación.

Hasta 1960 no se estudió a los chimpancés en su hábitat salvaje. Pasaron catorce años antes de que pudiera vérseles en los límites de sus territorios; había sido difícil seguirles constantemente de un lado a otro. En 1974 se presenciaron en Gombe los primeros ataques feroces, que tuvieron como resultado la extinción de toda una comunidad de chimpancés. Un grupo dirigido por la investigadora Jane Goodall estudió de cerca aquella extinción. Poco a poco, con el paso de los

años, se ha ido viendo que los chimpancés son proclives a atacar a individuos de otras comunidades. Ha habido matanzas de chimpancés no sólo en Gombe y en el territorio donde realizo mis investigaciones –Kibale, en la parte oeste de Uganda–, sino que los chimpancés se han matado unos a otros en Budongo, Uganda, y en Mahale, Tanzania. Es necesario que pase algún tiempo antes de que puedan reunirse estas observaciones.

Ocasionalmente tiene lugar un asesinato al estilo Julio César, una auténtica intriga; las coaliciones que se forman dentro de las comunidades de chimpancés son tremendamente importantes puesto que determinan la capacidad de un macho para hacer lo que cualquier macho se esfuerza desesperadamente por conseguir en todo momento, que es llegar a ser el macho-alfa. La pregunta que se plantea cuando uno ve que esas coaliciones a veces desembocan en lo que esencialmente puede llamarse asesinato es: ¿qué confiere por regla general tal solidez a las alianzas entre los machos? ¿Cómo es que no se produce un constante menoscabo de esa confianza? Las matanzas son acontecimientos poco frecuentes, pero sabemos bastante acerca de ellas. Puede ocurrir que se cree un gran desequilibrio de poderes: tres o cuatro individuos que juntos atacan a otro, lo cual significa que es fundamentalmente una acción segura para los atacantes. Hay diversos animales –las hienas, los leones, incluso las hormigas– que también matan a sus rivales de este modo.

Tres son los paralelismos que resultan verdaderamente asombrosos entre el ser humano y los grandes monos. La violencia que los chimpancés y los seres humanos manifiestan es prácticamente exclusiva de ellos. Después, vemos el extraordinario grado de tolerancia social tanto en los seres humanos como en los bonobos –otro simio que guarda también un cercano parentesco con el ser humano–, y vemos el nota-

ble grado de erotismo existente entre los bonobos, muy similar al de los seres humanos. Estos paralelismos no pueden explicarse fácilmente y nos obligan a reflexionar y plantearnos todo tipo de preguntas, dado que los seres humanos son tan diferentes de los demás simios si tenemos en cuenta nuestra ecología, nuestro lenguaje, nuestra inteligencia..., los millones de años que nos separan de ellos.

He estudiado con bastante regularidad a los chimpancés durante más de treinta años. Empecé a trabajar en el campamento que Jane Goodall estableció en la reserva de Gombe, Tanzania, que es el campamento arquetípico y, para muchos, representa lo que es el chimpancé. En 1984 me trasladé a Uganda, donde empecé a estudiar a la población de chimpancés de la selva, prestando particular atención a las variaciones culturales (tradiciones conductuales) existentes entre ellos. Una de las cosas maravillosas que está sucediendo en la actualidad es el descubrimiento de que en el África oriental una serie de comportamientos característicos de los chimpancés difieren de los comportamientos que encontramos en el distante Oeste africano: el campamento de Christophe Boesch en la selva Tai de Costa de Marfil, por ejemplo, o el campamento de investigaciones japonés de Bossou, en Guinea. Al este encontramos grupos de chimpancés relativamente fragmentados, entre los que hay relativamente poca actividad sexual, con escasas alianzas entre las hembras y un extremo dominio de los machos sobre ellas, todo lo cual difiere de lo que encontramos en el oeste, donde las hembras forman alianzas, los machos son mucho más respetuosos con ellas, y en general hay mucha menos violencia en la comunidad; el índice de infanticidio es mucho menor, y las manifestaciones del sentido territorial mucho menos rigurosas. Esto resulta muy estimulante, ya que entonces podemos preguntarnos cuáles son las influencias ecológicas y qué efectos tienen; y podemos

preguntarnos también cuál es el significado de todo ello de cara a reconstruir la clase de chimpancé que nos dio origen hace siete millones de años.

Las respuestas son cada vez más claras. En mi área de investigación, trato de comprender por qué y cómo determina la ecología una serie de diferencias de comportamiento. Un factor clave al que se le ha prestado poca atención es que en ciertas poblaciones los simios son capaces de caminar y alimentarse a la vez; en otras, en cambio, no lo son, debido a que no existe a su paso alimento alguno que puedan ingerir mientras caminan. Podría pensarse que es una diferencia trivial, pero resulta ser enormemente importante, porque si uno puede andar y alimentarse a la vez, puede quedarse entonces en un grupo con sus amigos y parientes sin que haya miembros adicionales que intensifiquen la competición dirigida a conseguir alimento; mientras que, si uno camina sin ingerir alimento entre los lugares concretos en los que el alimento se encuentra, cada vez que aparece un nuevo chimpancé y se une al grupo, la competición se intensifica en cuanto se llega al lugar donde se halla el alimento, y la situación no mejora durante el recorrido entre ese lugar y el siguiente. El efecto de esto a largo plazo es que los grupos se fragmentan, y es la naturaleza fragmentada de estos grupos de chimpancés que no pueden caminar y alimentarse al mismo tiempo lo que está en el origen de todas las diferencias sociales.

Hay dos cuestiones fascinantes relacionadas con la evolución humana y que todavía no hemos logrado comprender plenamente. Una es la evolución de la cocina. Sea cual fuere el momento en que se empezó a cocinar, aquello debió de tener un tremendo efecto en nuestras vidas, porque el cocinar incrementa inmensamente la calidad de los alimentos que ingerimos así como la variedad de alimentos que podemos ingerir. Todos sabemos que la calidad y la abundancia de la comi-

da son variables fundamentales para la comprensión de la ecología animal. Lo asombroso es que, pese a no existir una sabiduría convencional sobre cuándo se desarrolló la cocina, la antropología social y toda clase de sabiduría convencional nos dicen que los seres humanos son los animales que cocinan. Nos diferenciamos del resto del mundo porque el resto del mundo come alimentos crudos y nosotros comemos alimentos cocinados. Todo cuanto la antropología puede decir en la actualidad es que la cocina era una labor plenamente integrada en la vida cotidiana hace 250.000 o 300.000 años, puesto que se han encontrado excelentes restos arqueológicos de hornos de tierra pertenecientes a aquel período.

Todo un hallazgo; sin embargo, es de suponer que debimos de haber aprendido a cocinar mucho antes de que se construyeran los hornos de tierra. Cabría esperar que el cocinar los alimentos estuviera asociado con ciertos cambios corporales ahora que la comida era más fácil de digerir, tales como dientes más pequeños, o una reducción de la caja torácica a medida que el estómago disminuía de tamaño, o quizá una reducción del tamaño de la mandíbula. Y hay un momento de la evolución humana en que todo esto sucedió: hace 1,9 millones de años, cuando evolucionó el género *Homo*. Ése es el momento en el que debemos buscar evidencias de que se adoptara la cocina.

En cuanto se empieza a cocinar, la forma en la que el animal explota su medio ambiente cambia por completo. En lugar de desplazarse de una zona a otra en busca de alimento, y comer de camino hacia ella o al llegar a ella, ahora por primera vez debe acumular comida, colocarla en algún sitio y sentarse a su lado hasta que esté cocinada. Eso puede llevar veinte minutos; puede llevar media hora, o varias horas. Las consecuencias son que, de pronto, hay una porción de comida que puede robarse, y en cuanto se tiene una porción de co-

mida que puede robarse –siendo la vida tal como es–, alguien vendrá e intentará robarla. Lo que esto significa es que nos encontramos ante una dinámica de productor-gorrón, en la que unos individuos producen y otros individuos gorronean; y lo espantoso es que las hembras eran las productoras, y los machos los gorrones. Si a esto se suma el mayor tamaño de los machos que de las hembras –ya un 50% más grandes en el periodo al que nos referimos– está claro que los efectos en el sistema social tuvieron que ser enormes.

Lo que debemos considerar entonces es que, una vez que las hembras están dispuestas a preparar una comida, recogiendo el alimento primero y luego cocinándolo, se vuelven vulnerables a que la comida les sea robada, pues los gorrones –los grandes machos– encuentran más fácil, en vez de tener que salir a recolectar alimentos y después cocinarlos, simplemente robarla cuando está ya lista. Por lo tanto, las hembras se ven obligadas a crear alianzas protectoras a fin de defenderse de los machos ladrones, y éste es el origen de las relaciones macho-hembra. La evolución de la cocina es un tema amplísimo al que no se ha prestado ninguna atención; y sea cual fuere el punto de vista de uno respecto a la cocina, debemos admitir que es un problema que necesariamente se ha de abordar.

El segundo problema es el siguiente: hay diversos aspectos en la evolución del ser humano que dan prueba de una conducta y un físico que parecen contener las características propias de un animal joven. Durante 100 años o más, mucha gente ha expresado la idea de que los seres humanos podrían ser una especie neoténica –una especie que presenta características de inmadurez–, pero ésta es una forma demasiado general de considerar la cuestión. Aun así, el caso es que gran parte de nuestra conducta, cuando se compara con la de nuestros parientes más próximos, parece más juguetona y menos agresiva en lo referente a las interacciones sociales dentro de

un grupo. Tenemos también un carácter más sexual y estamos más preparados para aprender, que son características generalmente asociadas con la edad impúber.

En fascinante paralelismo con el ser humano, los bonobos –la segunda componente del par de especies fundamentales que abarca a nuestros parientes más próximos– presentan todo tipo de rasgos neoténicos. Esto puede apreciarse en la cabeza, donde la morfología del cráneo semeja la de un chimpancé que aún no ha entrado en la adolescencia o acaba de entrar en ella, y buena parte del comportamiento de los bonobos parece infantil. En comparación con los chimpancés, los bonobos son más juguetones, hay entre ellos menos diferencias sexuales en todos los aspectos de su conducta, tienen un carácter más sexual, etcétera. Todavía está por definir de dónde proviene el cambio que determina su neotenia y cuál es su significado.

Lo que sí tenemos en este momento son algunos magníficos ejemplos de fenómenos similares en otros animales dentro del contexto de la domesticación. Cuando observamos las diferencias entre lobos y perros, por ejemplo, vemos un asombroso paralelismo con las diferencias que encontramos entre chimpancés y bonobos. En ambos casos, y en relación con el tamaño del animal dado, vemos que se reduce el volumen del cráneo así como el de sus componentes, incluidas la mandíbula y la dentadura, y que el aspecto del cráneo recuerda al de un espécimen joven del otro grupo con el que está emparentado: el cráneo del perro es semejante al de un lobo de corta edad, y el cráneo del bonobo se asemeja al de un joven chimpancé. Y en cuanto al comportamiento, tanto del perro como del bonobo, parecen incluir marcados componentes del animal joven de la otra especie.

Esto sugiere la idea de que las especies pueden autodomesticarse. Tenemos razones para pensar que los bonobos evolu-

cionaron de un antepasado semejante al chimpancé como consecuencia de hallarse en un medio ambiente donde la agresividad resultaba poco beneficiosa, y donde la selección natural favoreció a aquellos individuos que eran menos agresivos. Con el tiempo, la selección hizo su trabajo de creación a partir de las ligeras variaciones en cuanto al momento de aparición de las características agresivas en los machos adultos. Fue retrasando ese momento cada vez más, favoreciendo así a aquellos individuos que conservaban una conducta de tipo infantil –e incluso una cabeza de tipo infantil, puesto que es el cerebro lo que controla el comportamiento. Finalmente, el resultado fue una especie que había sido efectivamente domesticada: que se había domesticado a sí misma.

Los experimentos nos han dado pruebas de este proceso. El genetista ruso Belyaev, por ejemplo, tomó a varios zorros salvajes y los seleccionó basándose estrictamente en su tolerancia al ser humano y con el único objetivo de amansarlos. A la edad de ocho meses, los zorros están ya preparados para procrear, luego Belyaev pudo ver los resultados con relativa rapidez. Al cabo de veinticinco generaciones, lo que encontró fue no sólo que los descendientes de los zorros eran igual de mansos que los perros, sino que tenían además una serie de características que parecían haber aprovechado el proceso para manifestarse: consecuencias incidentales que, aun no habiendo sido seleccionadas, habían evolucionado igualmente. Entre ellas hubo algunos notables cambios morfológicos –como la mutación estrella: la mancha blanca que muestran en la frente caballos, vacas y cabras– que, como es obvio, están genéticamente asociados con la mansedumbre, aunque por razones que son un completo misterio. Otros cambios morfológicos –como el pelaje rizado, los rabos cortos o las orejas gachas– se producen en numerosos animales domesticados. Por qué se producen estos efectos correlativos es algo que no sabemos.

Además, los cerebros resultantes son más pequeños. Éste es un dato asombroso de la evolución humana. Nos inclinamos a pensar que el cerebro humano ha experimentado un continuo aumento de volumen a lo largo de los últimos dos millones de años, pero en realidad, durante los últimos 30.000 años el cerebro ha decrecido entre un 10 y un 15 por ciento. La explicación general de este hecho es que al mismo tiempo nos volvimos más esbeltos –nuestros huesos se hicieron más finos–, lo cual significaba que nuestro cuerpo era más ligero, y puesto que tiende a haber una correlación entre el peso del cuerpo y el peso del cerebro, esto explica el que nuestros cerebros tengan menor tamaño. Sin embargo, yo no veo razón alguna por la que el tamaño del cerebro debiera estar en correlación con la cantidad de carne que soportan nuestros esqueletos. Esta esbeltez sigue exactamente el mismo patrón que vemos en la evolución de los perros a partir de los lobos, de los bonobos a partir de los chimpancés, o de los zorros domesticados con respecto a los zorros salvajes. En todos estos casos, la ligereza cada vez mayor de la estructura ósea es una consecuencia incidental.

Creo que tenemos que empezar a contemplar la idea de que nosotros, los seres humanos, durante los últimos 30.000, 40.000 o 50.000 años hemos estado domesticándonos a nosotros mismos. Si es el patrón del bonobo o del perro el que seguimos, estamos evolucionando hacia una forma de nosotros mismos con una conducta cada vez más juvenil. En cuanto uno adopta este enfoque, se da cuenta de que seguimos avanzando a gran velocidad. El tamaño de los dientes, por ejemplo, está fuertemente determinado por la genética y se desarrolla con muy poca influencia medioambiental –y continúa disminuyendo con rapidez–. Una serie de recientes evidencias indican que nos encontramos en medio de un acontecimiento evolutivo en el que está decreciendo el tamaño de los dientes, está decreciendo el tamaño de la mandíbula, y está decreciendo el tama-

ño del cerebro; y es bastante razonable imaginar que continuamos amansándonos a nosotros mismos. La forma en la que está ocurriendo es la forma en la que probablemente ha ocurrido desde que nos asentamos permanentemente en poblados hace 20.000 o 30.000 años, o antes.

Los individuos antisociales, por ejemplo, ven reducidas sus oportunidades de procrear. Tal vez se les ejecute, encarcele, o se les castigue con tal severidad que queden al margen del círculo procreador. Lo mismo que la mansedumbre es una característica selectiva en el proceso de domesticación de animales salvajes, o que los bonobos fueron fruto de una selección natural contraria a la agresividad, hay una clase de selección social contraria a las personas que son excesivamente agresivas dentro de las comunidades. Los seres humanos parecen estar convirtiéndose, cada vez más, en una forma pacífica de un antecesor más violento.

LA PERSPECTIVA COMPUTACIONAL

DANIEL C. DENNETT

Cuando voy a un taller o a una conferencia y doy una charla, en realidad mi trabajo de investigación continúa, porque los aullidos, chillidos y gestos de desaprobación que recibo del público, su forma de reaccionar a lo que planteo, a menudo diagnostican el modo como esas personas representan los problemas en sus mentes mientras escuchan. De hecho, la gente tiene muchas imágenes encubiertas sobre lo que es la mente y cómo funciona. El secreto está en exponer esas imágenes, sacarlas a la luz pública y luego corregirlas. Ésa es mi especialidad.

DANIEL C. DENNETT, filósofo y principal defensor del modelo computacional de la mente, es catedrático de filosofía y director del Centro de Estudios Cognitivos de la Universidad de Tufts, Massachusetts. Es autor de *Content and Consciousness* [*Contenido y Conciencia*]; *Brainstorms*; *Elbow Room*; *The Intentional Stance* [*La actitud intencional*]; *Consciousness Explained* [*La conciencia explicada*]; *Darwin's Dangerous Idea* [*La peligrosa idea de Darwin*]; *Kinds of Minds* [*Tipos de mentes*]; *Brainchildren*, y *Freedom Evolves* [*La evolución de la libertad*]. Ha publicado, en colaboración con Douglas Hofstadter, *The mind's I*, y es también autor de más de 200 artículos de gran erudición sobre diversos aspectos de la mente.

Si retrocedemos veinte años, o si retrocedemos 200 o 300, vemos que había una familia de fenómenos sobre los cuales nadie tenía la más ligera noción; me refiero a los fenómenos de la mente, es decir, a la idea en sí de pensar, percibir, sentir, soñar. No teníamos ningún paradigma de cómo se realizaban estas acciones en el plano físico. Descartes y Leibniz, grandes científicos por derecho propio, sencillamente no obtuvieron ningún resultado cuando se encontraron ante el reto de tener que intentar explicar estas cuestiones, y, en realidad, sólo gracias a la idea de la computación tenemos hoy día nociones razonables sobre cuáles podrían ser verdaderamente los proce-

sos. No hemos encontrado todavía la explicación completa, pero tenemos una serie de ideas acertadas. Ahora, al menos, vemos cómo puede abordarse el trabajo.

Llegar a entender nuestra capacidad de comprensión y descubrir qué tipo de elementos la constituyen es uno de los grandes avances en la historia del entendimiento humano. Podemos compararlo con la comprensión de procesos como la vida misma, la reproducción o el crecimiento, que hasta hace cien años eran un absoluto misterio, mientras que hoy día tenemos una idea bastante clara de cómo se reproducen los seres vivos, de cómo crecen, se recomponen y alimentan. Todos estos fenómenos, hace un tiempo misteriosos, se van aclarando.

Y al observar esta clase de fenómenos vemos que, en el nivel más básico, son procesos computacionales; es decir, hay algoritmos del crecimiento, del desarrollo y de la reproducción. La idea fundamental y vinculante es que se pueden agrupar no sólo miles, sino cientos de miles de millones de piezas móviles y a partir de esa agrupación obtener resultados totalmente novedosos y de calidad superior a la original; y la explicación más acertada que podemos dar sobre qué rige esos resultados se encuentra en el nivel de software, el nivel de los algoritmos. Para poder comprender cómo el crecimiento, el desarrollo y la cognición tienen lugar como procesos ordenados, es necesario tener una comprensión muy profunda de cómo interactúan esos miles, o cientos de miles de millones de piezas unas con otras.

Nunca antes habíamos contado con las herramientas necesarias para saber qué sucede cuando se juntan cientos de miles de millones de células y se las deja interactuar. Hoy día empezamos a disponer de esas herramientas; incluso un modesto ordenador portátil nos da ciertas pistas: vemos suceder en nuestro escritorio fenómenos que hubieran dejado pasmados a Newton o a Descartes –en realidad, incluso a Darwin–;

fenómenos que parecen pura magia. Nosotros sabemos que no lo son: un ordenador no tiene nada de mágico; algo que lo hace precisamente tan excepcional es que no oculta ningún plan secreto. Podemos decir con certeza moral que no hay tal cosa como resonancias mórficas, ondas psiónicas o interacciones terroríficas; todo se reduce al consabido y tradicional tira y afloja de la causalidad material. Y cuando esos cientos de miles de millones de piezas se conectan entre sí con un software, nos encontramos con toda esta magia que, en realidad, de magia no tiene nada.

La idea de la computación es en sí una idea imprecisa; sería un error pensar que tenemos un concepto claro, unificado y libre de contradicciones de lo que puede considerarse computación. Ni siquiera los informáticos tienen más que una idea difusa sobre a qué se refieren con este término. La cuestión es cómo discernir con exactitud lo que es computación de lo que no lo es; y no resulta fácil. Ahora bien, esto no significa que no podamos elaborar magníficas teorías al respecto. Prácticamente todo proceso puede interpretarse a través de la lente de las ideas computacionales, y éste es a menudo un fructífero ejercicio de reinterpretación, pues esa lente nos permite ver características de los mencionados fenómenos que a través de cualquier otra lente serían esencialmente invisibles.

La cultura humana es el medio ambiente en el que vivimos. Por un lado está el medio físico en bruto: las calles, el aire que respiramos, el agua que bebemos, los automóviles en los que viajamos, y por otro, toda la información que se transmite a través de los diversos medios de comunicación: las conversaciones cotidianas, los periódicos, los libros, la radio, la televisión, Internet. Las palomas también viven en este mundo, pero se mantienen ajenas a la mayor parte de lo que sucede en él. No les interesa qué dice el periódico sobre el que se posan para picotear unas migas; les resulta irrelevante la

información que pueda contener. A nosotros, en cambio, sí nos importa, y mucho.

Si pensamos en el mundo de información en el que vive nuestra especie, vemos que de hecho es un mundo complejamente estructurado: no es un mundo amorfo; no todo elemento está conectado con los demás; hay numerosas barreras. Este mundo de la comunicación tiene una arquitectura, y esa arquitectura está cambiando a gran velocidad, en sentidos que aún no comprendemos.

Voy a darles un ejemplo sencillo. Cuando en los Estados Unidos uno sintonizaba hace un par de años la Super Bowl de fútbol americano, se encontraba con toda una serie de nuevas compañías punto com que habían invertido una cantidad bochornosamente grande de su capital inicial en un solo anuncio destinado para la ocasión, confiando en que ese anuncio les daría el empujón que necesitaban. No dejaba de ser un hecho curioso: «Si es una empresa de Internet, ¿por qué no se anuncia en Internet? ¿Por qué hace algo tan retrógrado como utilizar para su publicidad una transmisión televisada?». Y la respuesta, obviamente, es que hay una gran diferencia entre las estructuras conceptuales de esos dos medios de comunicación. Cuando uno se sienta a ver la Super Bowl, forma parte en ese momento de una inmensa comunidad; y lo sabe. Sabe que él es uno de entre los millones, y cientos de millones, de personas que simultáneamente están disfrutando de una misma experiencia. Uno sabe que es así; y es este segundo factor --este acto reflexivo– lo verdaderamente importante. Cuando uno visita un sitio Web, quizá haya 100 millones de personas mirando esa página en ese momento, pero uno no lo sabe; puede que lo haya leído en algún lugar, pero no lo sabe con certeza. La sensación que uno tiene cuando recibe información a través de Internet es mucho más privada que cuando algo le llega a través de una cadena de televisión, y esto tiene enormes repercu-

siones en cuanto a credibilidad. Así, un anuncio que funciona en televisión resulta ser un fracaso en la Web –la World Wide Web, la gran red a escala mundial–, dado que aquel que lo ve, que lo lee o escucha, no conoce el volumen de audiencia de la que en ese momento forma parte; no sabe qué dimensiones tiene la sala en la que se encuentra, ni si se trata de una comunicación privada o pública. Aún es pronto para inferir hasta qué punto ocasionará Internet una fragmentación de las audiencias mundiales, pues si bien es cierto que Internet conecta a los individuos entre sí, también es cierto que los aísla de un modo que todavía no se ha empezado a evaluar. Esa sensación de estar totalmente perdido que experimenta el neófito la primera vez que se conecta a la Web –eligiendo entre buscadores, decidiendo qué es fiable, dónde está la página de inicio, a quién creer, en qué sitios entrar– se debe a que estamos todos ansiosos por encontrar fuentes de información e indicadores fiables.

Esta geografía de información disponible la han ido estableciendo a lo largo de los siglos los medios de comunicación tradicionales. Uno abría *el Times* y leía allí algo que tenía para uno cierta autoridad; o iba a la biblioteca pública y lo leía en la *Enciclopedia Británica*. Éstas eran instituciones que tenían carácter propio, una reputación, y ese sentimiento se compartía colectivamente. Era importante que los amigos de uno supieran también de la seriedad del *Times* o de la *Enciclopedia Británica* y los tuvieran en cuenta para cualquier consulta. ¿Se imaginan que alguien escribiera y publicara un libro titulado *Enciclopedia del Saber Mundial de Sammy*? Bien podría ser la mejor enciclopedia del mundo, pero si el común de las gentes no se da cuenta de que es así, nadie va a creer lo que se diga en ella. Es esta cuestión de la credibilidad la que, me parece a mí, ni siquiera ha empezado aún a cristalizar en la Web. Nos adentramos en territorio inexplorado, y es difícil predecir lo que está por suceder.

La experiencia humana ha cambiado inmensamente a lo largo del último siglo, y sobre todo en el trascurso de la última década. Me imagino, por ejemplo, que el adolescente occidental medio ha escuchado más música interpretada por profesionales que la que Mozart escuchara en toda su vida (sin contar la que él mismo interpretó, compuso y ensayó). Hubo un tiempo en el que oír tocar a músicos profesionales era un acontecimiento singular. Hoy día, lo que es un acontecimiento singular es precisamente no oír tocar a músicos profesionales: casi en cualquier lugar al que uno va suena música de fondo, lo cual supone un enorme cambio en la estructura auditiva del mundo en el que vivimos. Algo similar puede decirse respecto a las demás artes. Hubo un tiempo en que simplemente ver palabras escritas era algo fuera de lo común. Hoy día, todo lleva palabras escritas: mientras uno se da una ducha puede leer tranquilamente el reverso del bote de champú. Estamos completamente rodeados de la tecnología de la comunicación. Y esto es nuevo; nuestra especie no dispone de mecanismos para adaptarse automáticamente a la nueva realidad, así que nos las vamos arreglando como podemos.

Existen en el mundo muchísimos patrones. Algunos están regidos por la ley de la gravedad; otros, por diversos principios físicos. Y una serie de ellos están regidos por software; o lo que es igual, la solidez de su patrón –o sea, el hecho de su calidad destacada, de ser fácil de identificar, de que se reproduzca incesantemente, de que uno pueda encontrarlo en todo momento y lugar y pueda predecirlo– no se debe a que esté regido por una ley fundamental, como la ley de la gravedad, sino a que es la clase de patrón que aparece siempre que existen unos organismos que procesan la información: preservan, restauran y reparan los patrones, y los mantienen activos. Y éste es un aspecto nuevo y fundamental del universo. Si viajáramos a un planeta en el que no hubiera vida y examináramos todos los pa-

trones que allí hubiera, estos patrones de los que hablo no estarían allí. Son los patrones que encontramos en el ADN: nuestros patrones primarios, patrones de reasignación sin estado, estrategias evolutivas estables que hacen posible la existencia de todos los demás patrones; y son también los patrones que encontramos en los textos. Tienen que tener algún tipo de expresión física, ya sea en los nucleótidos, en signos de tinta, en partículas o cargas; pero lo que de verdad explica su existencia esencial en el universo es la computación, la cualidad algorítmica de todo aquello que se reproduce y tiene y da sentido.

En cierto modo, son patrones que no pueden reducirse a las leyes de la física, pese a estar basados en la realidad física. La explicación de por qué se forman de la manera en que lo hacen debe buscarse en un nivel superior. Douglas Hofstadter ofreció en una ocasión un ejemplo elegante y sencillo: nos sentamos delante de un ordenador, y lo vemos en marcha, siempre, constantemente en marcha. ¿Por qué no se detiene? ¿Qué factor explica el hecho de que ese ordenador no se detenga? Y en el ejemplo de Hofstadter, la razón de que no se detenga es que pi es un número irracional. ¡¿Qué?! Veamos, pi es un número irracional, lo que significa que sus decimales nunca terminan, y este particular programa de ordenador genera una expansión decimal de pi, un proceso que no se detendrá jamás. Por supuesto que el ordenador puede estropearse, o que puede aparecer alguien y cortar el cable de un hachazo; pero mientras el ordenador reciba corriente eléctrica, seguirá generando esos dígitos interminablemente. Éste es un hecho concreto, que es posible detectar en el mundo, y cuya explicación alude a un hecho matemático abstracto.

Bien, existen en el mundo muchos otros patrones que no son tan arcanos y que tienen que ver con el significado que damos a las cosas. Por ejemplo, ¿por qué se ruboriza uno? El proceso en sí puede explicarse fácilmente: el rubor es una sufusión

de sangre, que tiñe la piel del rostro. Pero *¿por qué* se ruboriza uno? Se ruboriza porque, digamos, piensa de pronto que su interlocutor sabe algo sobre él que él desearía que no supiera. Esto corresponde a un complejo estado intencional, de orden superior, un estado que sólo es visible cuando se investiga un nivel superior, el nivel de intencionalidad, pero que no resulta evidente en la mera observación de los estados individuales de las neuronas de su cerebro. Es necesario entrar en un nivel donde empezamos a contemplar ahora lo que ese hombre sabe, cree y quiere.

El nivel intencional es a lo que llamo la "actitud intencional". Es una estrategia que uno puede probar en cualquier momento en que deba hacer frente a algo de naturaleza compleja. Es cierto que no siempre funciona; pero la idea es interpretar esa complejidad como uno o varios actores racionales e inteligentes que tienen planes, creencias y deseos, y que interactúan unos con otros. Cuando uno asciende al nivel intencional, descubre patrones sólidos altamente predecibles, y que no pueden reducirse, sin que pierdan toda significación, a patrones de nivel inferior, es decir, en el plano físico. Y entre la actitud intencional y la "actitud física" se encuentra lo que llamo la "actitud de diseño". Éste es el nivel del software.

La idea de la abstracción existe desde hace mucho tiempo. Hace 200 años, uno habría estimulado cualquier imaginación filosófica al preguntar de qué estaba hecha la *Sinfonía Haffner* de Mozart. Es tinta sobre pliegos de papel; es una secuencia de sonidos cuando la interpretan diversas personas con instrumentos de cuerda y de otros tipos; es algo abstracto; es una sinfonía. Stradivarius hacía violines; Mozart hacía sinfonías, que dependen de una realización física, pero no de una en particular. Tienen una existencia independiente, que puede cambiar de un medio de difusión a otro y retornar nuevamente al primero.

Hace mucho tiempo que existe entre nosotros esa idea, pero en los últimos años estamos mucho más familiarizados con ella, viviendo como lo hacemos en un mundo de artefactos abstractos que saltan promiscuamente de medio en medio. Ya no es nada extraordinario pasar, de leer una partitura, a escuchar esa música en vivo, y después a escuchar una versión grabada. Hoy día se puede saltar de un medio de difusión a otro con gran rapidez; se ha convertido en un hecho cotidiano. Hubo un tiempo en el que suponía un trabajo enorme pasar algo de un formato a otro. Ya no; ahora ocurre de modo automático. Hemos eliminado al intermediario, es decir, para "producir" música ya no necesitamos que el músico interprete la partitura. Y el haber eliminado la costosa labor que suponía traducir algo de un medio a otro hace que sea lo más natural llenar nuestro mundo de abstracciones, ya que a uno le resulta difícil recordar a través de qué medio llegó algo hasta uno. De hecho, ya no importa; lo que nos interesa es la abstracción, no el medio. ¿Dónde consiguió usted su software? ¿Fue a una tienda, compró un auténtico CD y después lo instaló en su ordenador, o simplemente lo descargó de la Web? Es el mismo software, ya lo haya conseguido de un modo o de otro, luego ¿qué más da? La neutralidad del medio es una de las ideas esenciales del software, o de los algoritmos en general; y aunque nos vamos habituando poco a poco a ella, me sigue sorprendiendo cuánta resistencia hay a aceptarla.

Un algoritmo es un proceso abstracto que puede definirse a través de un conjunto finito de procedimientos fundamentales –un conjunto de instrucciones–; es una matriz estructurada de dichos procedimientos. Ésta es una descripción muy generosa de un algoritmo, más generosa de lo que les gustaría a muchos matemáticos, puesto que al hacerla incluyo algoritmos que en algunos sentidos pueden ser defectuosos. Tomemos como ejemplo nuestro ordenador portátil. Ese orde-

nador lleva incorporada una lista de instrucciones, consistentes en todas las operaciones básicas que puede realizar su unidad central de procesamiento (CPU). Cada una de esas operaciones básicas tiene un nombre o código digital, y siempre que se produce esa determinada secuencia de bits, la CPU trata de ejecutar la operación. Podemos tomar cualquier secuencia de bits que se nos antoje e introducirla en el ordenador como si se tratara de un programa. Casi con seguridad, toda aquella secuencia que no esté *diseñada* para ser un programa destinado a ejecutarse en ese ordenador portátil no producirá ningún resultado; el ordenador sencillamente se colgará. Aun así, tiene cierta utilidad pensar que cualquier secuencia de instrucciones, por más llena de errores que esté, por más absurda o inútil que sea, puede ser considerada un algoritmo, ya que la secuencia llena de errores y disparatada de una persona es el instrumento que a otra le resulta sumamente útil para conseguir cierto propósito aparentemente extraño; y ésta es una cuestión que no nos corresponde juzgar. (¡Quizá ese "disparate" estaba incluido precisamente para que el ordenador se colgara en el instante exacto en que lo hizo!) Podemos definir con mayor propiedad un algoritmo como aquel que no se cuelga al ejecutarse; el único problema es que, si lo definimos de este modo, entonces uno probablemente no tendrá ningún algoritmo en su ordenador, puesto que casi con certeza hay siempre una manera de hacer que prácticamente todos los programas informáticos se cuelguen; si no ocurre, es sólo porque uno no ha descubierto todavía la manera. Un software libre de errores es un ideal rarísimo de conseguir.

Se ha puesto de moda contemplar el mundo como si todo fuera un proceso computacional. Lo que esto revela es que no nos importan tanto los hechos como las estrategias; no nos preguntamos qué es la verdad, sino cuál es la estrategia más provechosa. Sería un error desechar los principios fundamen-

tales y considerar que todo es computacional, porque entonces la idea pierde sentido; entonces ya no tiene ninguna fuerza. ¿Cómo resolver el problema? Una forma es intentar definir, de modo rígido y centralista, un umbral que sea imprescindible sobrepasar, y negarse a llamar computacional a todo aquel proceso que carezca de una serie de propiedades determinadas. Pueden ser muy diversas las maneras de llevar a la práctica esta idea; lo que es seguro es que nos ahorrará la turbación de vernos obligados a decir que todo es computacional. La dificultad está en que, cualquiera que sea la lista de condiciones definitorias que elijamos, será demasiado rígida. Habrá procesos que cumplan esas condiciones pero no tengan el menor interés computacional para nadie, y habrá procesos que no cumplan esos requisitos básicos y sean, no obstante, sustancialmente el tipo de procesos que uno quiere considerar computacionales. Así pues, ¿qué hacer con la cuestión de las definiciones? Mi sugerencia es: ignorarla. ¡Lo mismo que hacemos en lo tocante a la vida! No queremos estar constantemente discutiendo si los virus están vivos o muertos; en cierto sentido están vivos, y en cierto sentido no. Algunos procesos obviamente son computacionales; otros, obviamente no lo son. ¿En qué casos resulta obvia la dimensión computacional? Bueno, eso depende de quién sea el que mira.

Suelo decir que la realidad puede observarse con tres actitudes distintas: la actitud física, la de diseño y la intencional. La actitud física es la que corresponde a los físicos, que trabajan con la materia y el movimiento. En la actitud de diseño empieza a contemplarse el software, es decir, los patrones que se mantienen: objetos de diseño que eluden su propia disolución, igual que baluartes que se defienden de la segunda ley de la termodinámica. La idea es aplicable a todo organismo vivo y a todo artefacto. Y por encima de ella está la actitud intencional, que es el modo en que tratamos ese con-

junto específico de organismos y artefactos que son en sí mismos agentes racionales procesadores de información. En cierto sentido, desde la actitud intencional uno puede considerar a la Madre Naturaleza –es decir, la totalidad del proceso evolutivo regido por la selección natural– como un agente, pero se entiende que es sólo una forma de hablar, un atajo que nos es útil para acceder a particularidades de algunos procesos de diseño cuyo desarrollo se extiende a lo largo de millones de años. Porque una vez que llegamos a la actitud intencional, nos encontramos con agentes racionales, encontramos mentes, creadores, escritores, inventores, descubridores e individuos ordinarios que interactúan basándose en su particular percepción del mundo.

¿Hay algo por encima de esto? Bueno, en cierto sentido lo hay. Los seres humanos (o las personas, como agentes morales) son un subconjunto especializado de sistemas intencionales. Todos los animales son sistemas intencionales, y también lo son las distintas *partes* que nos constituyen. Estamos hechos de multitud de sistemas intencionales menores –homúnculos, si se los puede llamar así–, pero a menos que uno tenga problemas de personalidad múltiple, en cada uno de nosotros hay una única persona. Y una persona es un agente moral; no simplemente un agente cognitivo, racional, sino un agente moral. Éste es el nivel más alto que alcanzo a comprender. Por qué existe, cómo existe, o qué condiciones requiere su continuidad son cuestiones muy interesantes. Podemos contemplar la teoría de juegos aplicada al crecimiento de los árboles, por ejemplo: los árboles compiten por la luz del sol; es un juego en el que hay vencedores y vencidos. Pero si contemplamos esa misma teoría aplicada, no ya a agentes racionales, sino a personas con un sentido moral, encontramos algunas diferencias sustanciales. Las personas tienen libre albedrío; los árboles no. Para el árbol,

esta cuestión no tiene relevancia del modo en que lo tiene para la persona.

Lo que me gusta de la idea de que las personas son animales con libre albedrío es que coincide con la tradición filosófica (incluidos Aristóteles y Descartes, por ejemplo) en sostener que las personas son de hecho diferentes, que no son "simplemente" animales. En lo que los teóricos tradicionales por supuesto discrepan entre sí es en qué constituye esa diferencia. Aunque por un lado esta idea supone una naturalización de las personas, por otro afirma que son diferentes, y he descubierto que esto es lo que más atrae y disgusta a la gente acerca de mi punto de vista. Están aquellos que se empeñan en que las personas son más diferentes de lo que yo estoy dispuesto a conceder: quieren que las personas tengan un alma, que sean personas cartesianas. Y luego están aquellos que temen que sea demasiado grande la diferenciación que hago entre las personas y los demás animales al afirmar que los seres humanos, debido a la cultura, son verdaderamente seres muy distintos. Algunos científicos contemplan esta declaración con escepticismo, como si con ella tratara yo de adjudicar a la filosofía una cuestión que pertenece a la ciencia. El hecho, sin embargo, es que mi punto de vista sobre lo que hace distintas a las personas es una teoría científica; en cualquier caso, tenga o no tenga validez, será como implicación de una teoría científica.

En cuanto a mi papel en la ciencia cognitiva –esto es, si me considero un filósofo o un científico–, creo que se me da bien descubrir los bloqueos de la imaginación, los malos hábitos de pensamiento que contaminan el modo como los teóricos se plantean el problema de la conciencia. Cuando voy a un taller o a una conferencia y doy una charla, en realidad mi trabajo de investigación continúa, porque los aullidos, chillidos y gestos de desaprobación que recibo del público, su for-

ma de reaccionar a lo que planteo, a menudo diagnostican el modo como esas personas representan los problemas en sus mentes mientras escuchan. De hecho, la gente tiene muchas imágenes encubiertas sobre lo que es la mente y cómo funciona. El secreto está en exponer esas imágenes, sacarlas a la luz pública y luego corregirlas. Ésa es mi especialidad.

Mi demolición del teatro cartesiano, del materialismo cartesiano, ha sido simplemente una de esas campañas de desenmascaramiento. De palabra, la gente suele defender con ardor la idea de que no existe en el cerebro ningún médium privilegiado que desempeñe el papel que Descartes atribuyó a la mente no física como teatro de la conciencia. No obstante, cuando uno observa detenidamente lo que esas personas piensan y dicen, sus puntos de vista sólo resultan coherentes si uno entiende que detrás de sus palabras se oculta la presuposición de un teatro cartesiano en algún lugar del modelo. Sacarle esto a alguien, hacerlo salir a la superficie y mostrar luego con qué podría remplazarse me resulta un trabajo muy interesante. Afortunadamente, hay quienes han llegado a apreciarlo como un valioso servicio que alguien como yo, un filósofo, puede hacer: enfrentar a las personas con las suposiciones y conclusiones ocultas en su pensamiento, y mostrarles cómo esas suposiciones ocultas les impiden ver las oportunidades de explicar lo que quieren explicar.

¿QUÉ FORMA TIENEN LAS OREJAS DE UN PASTOR ALEMÁN?

STEPHEN M. KOSSLYN

Existe un gigantesco proyecto, aún por realizar, que dará a la psicología el lugar que le corresponde entre el resto de las ciencias naturales. Una vez conseguido esto, será posible pasar de lo fenomenológico (fenómenos como las imágenes mentales) al procesamiento de información [...] *y al cerebro* [...], *pasando por el funcionamiento de las neuronas, incluida la bioquímica, hasta llegar a la biofísica y al modo en que los genes son regulados al alza o a la baja. Es algo que va a suceder; no me cabe la menor duda. Y cuando ocurra, vamos a tener una comprensión de la naturaleza humana muy superior a la de cualquier otro momento en la historia de la humanidad.*

STEPHEN M. KOSSLYN, profesor de psicología, ocupa la cátedra John Lindsley en la Universidad de Harvard y ha publicado más de 250 artículos sobre la naturaleza de las imágenes mentales de carácter visual y otros temas relacionados. Es cofundador y editor senior del *Journal of Cognitive Neuroscience*, y ha formado parte de varios comités del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, asesorando al gobierno sobre nuevas tecnologías. Es autor de *Image and Mind*; *Ghosts in the Mind's Machine*; *Elements of Graph Design*; *Wet Mind* (en colaboración con Olivier Koenig); *Image and Brain*, y *Psyichology* (en colaboración con Robin Rosenberg).

He pasado los últimos treinta años obsesionado con una pregunta: ¿qué forma tienen las orejas de un pastor alemán? Por supuesto, no es la respuesta específica a esta pregunta lo que me interesa; si lo fuera, me bastaría con salir a la calle y mirar a los perros. Lo que me interesa en realidad es el modo en que la gente responde de memoria a esa pregunta. La mayoría dice que en primer lugar visualiza la cabeza del perro, y luego mentalmente "mira" sus orejas. Pero ¿qué significa visualizar algo? ¿Qué significa "mirar" algo mentalmente? No es que haya en la mente de uno un pequeño personaje que realmente observa esa representación. Si lo hubiera, tendría que haber a su vez otro pequeño personaje dentro de la cabeza del primero, y así sucesivamente, lo cual no tiene ningún sentido.

Durante muchos años tratamos de recoger pruebas objetivas de que, cuando uno experimenta una visualización, existe de hecho algo de carácter pictórico en su cabeza. Ciertas partes del cerebro están físicamente organizadas para que, cuando miramos algo, el dibujo correspondiente se trace físicamente en el córtex. Incluso si uno tiene los ojos cerrados al producirse la visualización, la primera área visual de la corriente de procesamiento resulta a menudo activada durante la creación de la imagen visual; es más, la forma en que se activa depende de lo que uno esté visualizando: si visualiza algo vertical, la activación se produce a lo largo del llamado meridiano vertical; si visualiza algo horizontal, la activación se inclina hasta alcanzar un sentido apaisado. Igualmente, al visualizar objetos de distintos tamaños cambia el patrón de activación, y lo hace prácticamente del mismo modo que cuando miramos objetos de los tamaños correspondientes.

Pero llevo alrededor de treinta años intentando responder a esta pregunta –no a la pregunta sobre el perro, sino a la pregunta que hay detrás de la pregunta: qué es la creación de imágenes– y ha llegado el momento de avanzar. En vez de simplemente tratar de establecer que las imágenes mentales existen de hecho y que son fieles representaciones que desempeñan un papel funcional en los sistemas de procesamiento, quiero preguntar: «¿Y qué? ¿A quién le importa?». Últimamente he estado trabajando en algo a lo que tentativamente he llamado principio de simulación de la realidad. Se basa en los resultados de una serie de investigaciones que he realizado en el laboratorio; esos resultados indican que las partes del cerebro que intervienen en la creación mental de imágenes visuales son en su mayoría –alrededor de dos tercios– las mismas que intervienen en la percepción visual. La cantidad de elementos comunes es por tanto enorme, lo cual nos hace sospechar que la imagen mental de un objeto puede

producir el mismo impacto en la mente y en el cuerpo que produciría el hecho de ver realmente ese objeto. Aparentemente, a mi entender, una vez que los sistemas del cerebro se activan, no saben (por así decirlo) de dónde provenía el estímulo; son capaces de producir los mismos efectos, tanto si el proceso fue activado por un estímulo endógeno (a partir de una información contenida en la memoria), o exógeno (surgido del hecho de mirar algo).

El "principio de simulación de la realidad" describe cómo utilizar las imágenes mentales como sustitutos de los objetos factuales; es decir, básicamente, cómo manipularse a uno mismo. Es más fácil comprender el sentido de este principio cuando se ve en conjunción con lo que llamo "ciclo GITI" (siglas de Generar, Inspeccionar, Transformar, Inspeccionar). Si las imágenes mentales pueden simular verdaderos objetos y secuencias, uno puede generar la imagen, inspeccionarla, transformarla e inspeccionar el resultado. Y tiene posibilidad de hacerlo reiteradamente, lo cual significa que puede sacar provecho del "principio de simulación de la realidad" y obtener de él todo tipo de beneficios.

¿A qué clase de beneficios me refiero? Un ejemplo muy claro es la memoria. Las investigaciones del psicólogo cognitivo Alan Paivio y de muchos otros han revelado que uno es capaz de recordar con más facilidad un objeto que la representación de ese objeto, y la representación del objeto con más facilidad que la palabra. Por otro lado, si uno visualiza el objeto nombrado con una palabra, obtiene en los test de memoria mejores resultados que en caso contrario. Por consiguiente, nos interesan en este momento temas como la hipnosis. Es posible hipnotizar a un individuo, y hacerle que visualice un objeto e imagine que se trata de un objeto realmente tridimensional presentado con todo lujo de detalles. Sería de esperar que esto potenciara su memoria aún más.

Neurocientíficos como Marc Jeannerod y Jean Decety nos han mostrado que imaginar que hacemos algo pone en funcionamiento la mayoría de los mecanismos cerebrales que guiarían los movimientos reales correspondientes. Por su parte, quienes trabajan en la psicología del deporte han visto que, al imaginar que realizamos una actividad concreta, conseguimos mejorar realmente nuestro ejercicio de esa actividad. También este proceso incluye el generar una imagen, inspeccionarla, transformarla imaginando los propios movimientos, "viendo" cuáles serían los resultados, y repitiendo luego todo desde el comienzo. Eso sí, la siguiente vez uno puede cambiar la imagen, dependiendo del resultado que "vea". Si uno imagina que está jugando al golf, por ejemplo, y que la bola no entró en el hoyo, puede imaginar lo que ocurriría si la golpeara un poco más suave. No hay duda de que la práctica mental funciona, y si comprendemos cómo operan los mecanismos de la creación de imágenes, podemos optimizar esa práctica mental.

El "principio de simulación de la realidad" puede emplearse también para adquirir conocimiento de uno mismo. Pruebe usted esto: imagine que está anocheciendo; camina usted solo, nervioso porque llega tarde a una cita. Empieza a caminar más aprisa, y de pronto advierte un callejón por el que podría atajar. Cada vez está más oscuro, pero usted no quiere llegar tarde, así que se dirige hacia el callejón. Entonces ve a tres tipos que merodean cerca de la entrada, fumando. Ahora considere la primera posible composición: los tipos parecen tener alrededor de veinte años; visten pantalones cortos, caídos hasta media pierna, camisetas sucias y gorras de béisbol con la visera hacia atrás. Al aproximarse usted a ellos, dejan de hablar; vuelven la cabeza y empiezan a seguirle. ¿Cómo se siente?

Ahora pruebe a hacer lo mismo, sólo que esta vez imagine que se trata de tres contables rechonchos, un poco calvos, de mediana edad, vestidos con traje. Están allí de pie, fumando,

y de pronto vuelven la cabeza y empiezan a seguirle. ¿Cómo se siente ahora?

¿Y si los tipos son negros, o latinos? ¿Cómo se siente entonces? Si puede usted poner orden en su panorama emocional por medio de esta simulación mental, quizá descubra cosas sorprendentes de sí mismo. Haga que esos contables de mediana edad sean negros y vea cómo se siente. Al afrontar su reacción a las simulaciones, tal vez algunas personas descubran que lo que consideraban prejuicios raciales son en realidad prejuicios de clase. Este tipo de simulaciones puede aportar conocimiento propio y ayudarle a uno a mejorar su inteligencia emocional.

También es posible manipular el cuerpo mediante imágenes. Obviamente, eso es lo que uno hace cuando se deleita en una fantasía sexual; y si uno imagina una situación que le infunde temor –cuando prevé el encuentro con una figura de autoridad, por ejemplo, o se ve caminando por un estrecho sendero quebradizo al borde de una montaña– las palmas de las manos le empezarán a sudar, y se le acelerarán los latidos del corazón. Está claro que las imágenes mentales afectan al organismo, pero estoy pensando ahora mismo en algo mucho más interesante que lo que resulta obvio en estos ejemplos. Uno de los efectos que estamos estudiando en la actualidad es cómo puede uno cambiar su panorama hormonal mediante la manipulación de sus imágenes. Tenemos el llamado "efecto de la victoria": si un hombre gana un concurso, su testosterona sube, y si pierde, baja. Puede que esto no sea una sorpresa; pero resulta que cuando ese hombre ve ganar a su equipo favorito, su testosterona también sube, y si su equipo pierde, baja. Y lo mismo sucede incluso si está viendo un torneo de ajedrez, luego el factor no es la excitación.

¿Por qué es interesante esto? Es interesante porque parece ser que la habilidad espacial de los hombres varía en conjun-

ción con sus niveles de testosterona. Son muchas las investigaciones que sugieren que la relación entre los niveles de testosterona y la habilidad espacial son una función con forma de U: un hombre no presenta la misma habilidad espacial si tiene demasiada testosterona o demasiado poca. A medida que uno avanza en edad, tanto el nivel de testosterona como la habilidad espacial disminuyen; hay abundantes pruebas de que existe una conexión entre ambos. La pregunta es: ¿puede uno manipular su nivel de testosterona –y por tanto manipular su habilidad espacial– mediante la creación de simulaciones imaginarias, observándose a sí mismo perder o ganar? Si el "principio de simulación de la realidad" es correcto, efectivamente puede hacerlo. A esto apuntan las investigaciones que actualmente estoy realizando en mi laboratorio, en colaboración con Peter Ellison y Carole Hooven. Esté al tanto.

Lo que trato de decir es que se puede utilizar el "principio de simulación de la realidad" de muchas maneras diferentes, incluidas algunas que no son intuitivamente obvias, como la manipulación del panorama hormonal. Las imágenes mentales desempeñan también un importante papel en la creatividad y la resolución de problemas. Einstein explicó que la mayor parte de su pensamiento surgía con la ayuda de imágenes mentales, antes de hacer uso de cualquier formulación verbal o matemática. Sabemos bastante en este momento sobre como poner las imágenes al servicio de la resolución de problemas o de la creatividad. Hay quienes afirman que también es posible manipular la salud por medio de esto a lo que llamo "principio de simulación de la realidad". Soy un poco escéptico acerca de esto. Es verdad que puede manipularse el efecto placebo hasta cierto punto, pero no creo que los efectos médicos del "principio de simulación de la realidad" sean demasiado notables. Si los acontecimientos percibidos no tienen ningún efecto, no habría por qué esperar que las imágenes tuvie-

ran un efecto. Observar un acontecimiento particular no parece ser de ayuda en la curación del cáncer, lo cual me hace pensar que las imágenes tampoco deben de serlo.

A fin de comprender las imágenes mentales, parto de la premisa de que «la mente es lo que el cerebro hace». Es un enunciado un poco simplista, desde luego. En realidad, la mente es lo que el córtex hace, puesto que el cerebro realiza también actividades que no son mentales, como la respiración. Si esto es así, la pregunta entonces sería: ¿cómo comprendemos el procesamiento de información del cerebro? Ésta es una de las más profundas preguntas de la psicología, y probablemente de la ciencia en general. Es un verdadero misterio. ¿Cómo es que la semántica y el significado de las cosas pueden dictar una secuencia de acontecimientos en esta máquina húmeda? La máquina húmeda tiene por sí misma 100.000 millones de neuronas, cada una de las cuales tiene, por término medio, 10.000 conexiones. Sin duda es complicado, pero permite comprender el cerebro en términos químicos y físicos.

Bien, ¿cómo produce esta máquina secuencias de actividad coherentes e interpretables semánticamente y permite que estas actividades sean moduladas por la semántica de lo que registra del mundo? Cuando usted me dice algo, no se trata de meros patrones de sonido: el contenido de lo que usted dice influencia la actividad que en ese momento realiza mi cerebro. Mi modo de responder será consecuencia de cómo procese mi cerebro eso que recibe del exterior. La única forma que conozco de empezar tan sólo a reflexionar sobre tales preguntas es estudiar cómo procesa la información el cerebro, cómo la "computa". Pensemos por un momento en hechos físicos tales como la posición de los bytes de un ordenador. Cada bit de cada secuencia de ocho bits que tiene un byte está, o encendido, o apagado. Uno puede hacer una descripción física de la naturaleza de esta máquina y de su hardware, pero

también puede interesarse por la representación: ¿qué significa ese patrón de actividad física? Podemos considerar los sistemas basados en la interpretación de unas normas, donde las representaciones influyen en otras partes de un sistema, haciendo que otras representaciones se formen, se modifiquen, combinen u operen de diversos modos, y haciendo que se generen respuestas. En este sentido, pensar en la computación que ocurre en un ordenador resulta útil para describir cómo funciona la mente, aun cuando la metáfora no sea la apropiada para el cerebro.

Un ordenador se basa en una estructura arquitectónica de Von Neumann, en la que existe una estricta separación entre la memoria y la unidad central de procesamiento, o CPU [Central Processing Unit]. Esto significa que hay una estricta separación entre las operaciones y las representaciones, que aguardan pasivamente en la memoria. La CPU es en esencia un instrumento de intercambio que se sirve de instrucciones para dictar lo que va a hacer, tanto en función de cómo interpreta las sucesivas series de instrucciones, como de lo que hace con las representaciones. La idea misma de la representación depende de cómo esté estructurada la CPU; es decir, exactamente el mismo patrón de bytes puede representar un número, una letra o una sección de una fotografía dependiendo de cómo se interprete. Una vez ejecutada la operación, los resultados regresan a la memoria y sirven de información para procesos adicionales. El ordenador es útil como medio para contemplar todo esto, pero no es un modelo de cómo funciona el cerebro; el cerebro no funciona así. Ahora bien, utilizar la computación como modelo para comprender el cerebro nos permite apreciar la exquisita danza de sucesos en los distintos niveles de análisis. Es un maravilloso misterio. ¿Cómo puede una idea surgir de un material húmedo? ¿Cómo puede la idea influir en lo que sucede en ese material húmedo?

No necesitamos –¡afortunadamente!– responder a esta clase de preguntas para progresar en la comprensión de la mente. Mi trabajo está muy influenciado por la perspectiva computacional, pero creo que la parte importante es lo que se ha averiguado, los descubrimientos empíricos. Era yo estudiante universitario cuando me topé con los fenómenos básicos que llevo investigando desde hace aproximadamente treinta años. Cuando hice mi primer curso de postgrado en Stanford, en 1970, los estudios de memoria semántica estaban muy de moda. Alan Collins y Ross Quillian habían creado en 1969 un modelo simulado en el que aseguraban que la información se almacenaba en la memoria a largo plazo con la mayor eficiencia posible. (Esto, dicho sea de paso, no tiene mucho sentido si hablamos del cerebro, ya que el espacio de almacenamiento no parece suponer un problema, ni siquiera dentro de un ordenador.) Afirmaron que las memorias están organizadas en jerarquías en las que se almacena información mediante representaciones lo más generales posible. Por ejemplo, bajo el epígrafe "animales" hay una representación de los animales en general, y luego aves, mamíferos, reptiles, etcétera; y bajo "aves" están los canarios, gorriones... La idea era que almacenamos las diversas propiedades en el escalafón más alto de la jerarquía que podemos, en vez de duplicarlas creando una redundancia. Por ejemplo, las aves "comen", pero también lo hacen las lagartijas y los perros, y por lo tanto almacenamos esta propiedad en lo alto, junto al concepto de "animales". Situamos las excepciones (como el hecho de que, a diferencia de la mayoría de las aves, los avestruces no vuelan) en un nivel inferior.

Una forma de verificar esta teoría es registrar los tiempos de respuesta. Si proponemos a una serie de personas una afirmación como: «El canario canta» y les preguntamos si es verdadera o falsa, la información necesaria para decidir la res-

puesta debería estar almacenada en el mismo sitio; es decir, las palabras "canario" y "cantar" deberían estar asociadas en un nivel bajo de la jerarquía. En cambio, si a esas personas se les pide que evalúen: «Un canario come», los participantes se verán obligados a atravesar la red entera para encontrar la conexión entre uno y otro concepto, si es que "comer" está almacenado junto a la palabra "animal". Por lo tanto, uno debería tardar un poco más en evaluar esta afirmación que en evaluar «El canario canta»; y en efecto, ¡eso es lo que ocurrió! Desgraciadamente para el modelo, no obstante, resultó que, en una red semántica, la distancia no es crucial. El proyecto que desarrollé durante mi primer año en Stanford mostró que el tiempo de respuesta se debe simplemente a la proximidad de asociación entre los términos, y no a la distancia que hay entre ellos dentro de una red semántica. La teoría era ciertamente atractiva, pero los datos podían explicarse fácilmente con una idea mundana. ¿Cómo dice esa cita...? Algo sobre una bella teoría a la que mata la vulgaridad de los hechos. Bien, pues éste fue el caso.

Sin embargo, la historia no acaba aquí. En uno de los experimentos pedí a los participantes que respondieran al enunciado: «Una hormiga muerde: ¿verdadero o falso?». Dos personas seguidas contestaron: «Falso», y cuando más tarde les pregunté por qué, la primera me dijo que había "buscado" una boca y no la había encontrado; la segunda, que había "buscado" los dientes y no había conseguido "verlos". Esta idea de "buscar" y "ver" no encajaba en absoluto con la propuesta de Collins y Quillian de un modelo computarizado basado en una red semántica, de modo que empecé a reflexionar sobre ello. Mi idea era que quizá algunos de los participantes habían empleado imágenes mentales para evaluar los enunciados, y de ser así, sus tiempos de respuesta debían reflejar entonces propiedades de la imagen, y no la distancia dentro de

una red semántica, la fuerza de las asociaciones ni nada parecido. Así que telefoneé a todas las personas que habían hecho el test y les pregunté si su tendencia había sido a visualizar lo que sugería el enunciado en el momento que se les formulaba la pregunta. La mitad aproximadamente contestó que sí, y la otra mitad que no. Coloqué en dos apartados distintos los datos de uno y otro grupo, y ¡qué hallazgo! Para las personas que decían haber usado imágenes, lo estrechamente asociadas que estuvieran las propiedades y los animales no tenía nada que ver con la rapidez de su respuesta. Para estas personas, la variable crucial era el tamaño de las propiedades: cuanto más grande fuera la propiedad, más rápidamente eran capaces de "verla".

Inmediatamente diseñé un experimento en el que enfrenté entre sí una y otra característica: fuerza de asociación y tamaño. Por ejemplo, pedí a los participantes que decidieran si enunciados como: «Un ratón tiene bigotes» eran verdaderos o falsos. El truco en este caso era que debían considerar rasgos pequeños fuertemente asociados (como los bigotes para un ratón), o rasgos grandes cuya asociación no era particularmente fuerte (como la espalda para un ratón) o rasgos que simplemente no corresponden a ese animal (como alas para un ratón). Descubrí que si pedía a la gente que lo visualizara, el factor crítico era el tamaño de la propiedad: cuanto más grande era, más rápidas eran las respuestas. Si les pedía, en cambio, que no lo visualizaran sino que respondieran intuitivamente lo más rápido posible, el patrón se invertía: en este caso, la velocidad de respuesta dependía de lo íntimamente asociado que estuviera el rasgo, no de lo grande que fuera.

La pregunta siguiente era cómo interpretar aquellos resultados. Casualmente, mientras realizaba estos experimentos asistía también a una clase de programación informática.

En aquel tiempo se usaban tarjetas perforadas. Uno llegaba al centro de informática, introducía su taco de tarjetas y se quedaba allí de pie mirando al monitor, esperando a que su trabajo apareciera para ver si se estrellaba, lo cual podía saberse por el tiempo transcurrido. Uno de los ejercicios de la clase era programar una serie de pequeñas subrutinas que generaban formas geométricas –triángulos, cuadrados, círculos– y ajustar su tamaño y posición. Había que hacer cosas como crear un árbol de Navidad a base de aplicar una y otra vez la misma rutina, generando primero un triángulo y trazando luego triángulos de diferentes tamaños y en diferentes posiciones, superponiéndolos hasta conseguir el diseño deseado.

Mientras hacía esto, se me ocurrió de pronto que éste era un interesante modelo de la creación de imágenes mentales. Podemos considerar que las imágenes mentales tienen cuatro componentes principales: una representación profunda, que es una representación abstracta situada en la memoria a largo plazo; una representación superficial, que es como una exposición visual generada a través de un tubo catódico; los procesos generativos entre ambos, que hacen que la geometría de la superficie se reconstruya en una "pantalla mental" basándose en la representación profunda, y, finalmente, los procesos interpretativos a partir de la imagen superficial, que interpretan los patrones como representaciones concretas de objetos, de piezas o de características.

Se trataba de una metáfora muy clara, que me llevó a realizar un sinfín de fructíferas investigaciones. De hecho, los primeros diez o doce artículos que escribí fueron en gran parte resultado de estudiar las implicaciones de esta metáfora. Pero tenía un inconveniente sustancial: era una metáfora, no una verdadera teoría. Por más fuerte que uno se golpee la cabeza, no oirá ruido de cristales rotos: en la cabeza no hay una verdadera pantalla con tubo catódico; e incluso si la hubiera, volve-

ríamos a encontrarnos con el problema de necesitar que, allá dentro, un "pequeño personaje" mirara esa pantalla (y que, a su vez, existiera otro pequeño personaje dentro de su cabeza; y así sucesivamente). Esto me llevó inmediatamente a empezar a pensar en cómo programar un sistema en el que hay matrices que funcionan como unidades de almacenamiento intermedio, y se crea una imagen superficial mediante la colocación precisa de ciertos puntos en la matriz que representarán diversas formas. Si este diseño de puntos fuera la imagen de la superficie, y la matriz fuera un registro intermedio de memoria a corto plazo, tendríamos entonces una representación semejante al lenguaje, mucho más abstracta, que en realidad está almacenada en la memoria a largo plazo, y que se podría accionar para crear la imagen. Lo bueno de esta idea, pensé, era que permitía tenerlo todo: lo que está almacenado es abstracto, pero puede usarse para crear algo muy concreto y de carácter visual.

Una de las virtudes de la analogía con el ordenador es que le hace a uno centrarse en la idea de los sistemas de procesamiento: no simples representaciones o procesos aislados, sino conjuntos de representaciones y procesos que trabajan juntos. Nadie había intentado averiguar detalladamente hasta entonces cómo sería un sistema de procesamiento que empleara imágenes. De hecho, los pocos modelos detallados que existían de creación de imágenes se centraban en tareas artificiales específicas e intentaban modelarlas utilizando una lista de estructuras normalizadas. En los primeros modelos informatizados de creación de imágenes, no había imágenes. Steve Schwartz y yo decidimos tomarnos en serio la posibilidad de que las imágenes mentales no se representaran del mismo modo que el lenguaje –de que fueran tal vez imágenes verdaderas–, y creamos una serie de modelos de simulación para mostrar que este enfoque no sólo era posible, sino

que explicaba muchos de los datos recogidos. Publicamos nuestro primer artículo sobre el tema en 1977, seguido de otro en 1978. Además, en 1980 escribí un libro titulado *Image and Mind*, en el que desarrollé la idea en mucho mayor detalle de lo que nadie hasta entonces había considerado pertinente. Creo que ni el modelo ni el libro tuvieron demasiado impacto. Recuerdo que pedí a uno de mis profesores de Stanford su opinión sobre el modelo, y me contestó que le parecía detallado en exceso. A los psicólogos generalmente no les gusta tener que trabajar con un marco teórico muy detallado, así que, básicamente, allí acabó todo. Sin embargo, debido a una ligera afección del lóbulo frontal que me hace ser perseverante, continué de todos modos desarrollando la teoría y haciendo experimentos. El libro que publiqué en 1994 sobre la creación de imágenes, *Image and Brain*, es producto de las investigaciones anteriores, pero las sitúa dentro del cerebro como si de un mapa se tratara. A los europeos –a los franceses sobre todo– y a los japoneses, parece que les interesa, aunque no se pueda decir lo mismo de los americanos.

Dicho esto, he de añadir que desde hace un tiempo hay señales de un reavivado interés en la creación de imágenes mentales. Puede que sea como resultado de un nuevo asalto en el viejo debate que mantengo con Zenon Pylyshyn. Pylyshyn es amigo de Jerry Fodor, pero, a diferencia de él, ha sostenido siempre que la experiencia de las imágenes mentales es comparable al calor que desprende una bombilla mientras uno lee: es epifenomenal; es decir, no desempeña un papel funcional en el proceso. Pylyshyn cree que las imágenes mentales son simplemente representaciones del mismo tipo que el lenguaje, y que pensar que tienen en modo alguno una cualidad diferente es una ilusión. Publicó su primer artículo en 1973. En 1977, Jim Pomerantz y yo replicamos a lo que en él exponía, y desde entonces el debate está en pie.

Pylyshyn siente un gran desprecio por la neurociencia, por no decir algo peor. Considera que es inútil y que no aporta nada significativo sobre la mente. La verdad es que no sé lo que le hace llegar a esta conclusión. Sospecho que se debe a que es una de las pocas personas (menos del 2% de la población) que no experimenta imágenes mentales; al parecer, ni siquiera entiende los chistes que se basan en imágenes. Otra de las razones de que rechace la idea misma de la creación de imágenes sean probablemente sus intuiciones acerca de la computación, basadas en la arquitectura de Von Neumann. De acuerdo con ellas, sabe que un ordenador no necesita representaciones pictóricas descriptivas, y es probable que sus intuiciones acerca de la mente sean similares. Ahora bien, todo esto no es más que mera especulación.

Pylyshyn no está en contra de las teorías que tienen sus raíces en los mecanismos neuronales –considera que las teorías sobre la estructura lógica del lenguaje deberían servir de modelo a todos los demás tipos de teorías–, pero sí está en contra de los modelos computacionales de la red neuronal. He publicado ocho o diez artículos utilizando modelos de red, y en cierto momento de mi carrera profesional investigué la naturaleza de las relaciones espaciales. Tenía la idea de que en realidad hay dos formas de representar las relaciones espaciales existentes entre los objetos. Una es la que denomino categórica, en la que una categoría define una clase de equivalencia. Algunos ejemplos de estas relaciones espaciales categóricas serían "la izquierda de", "la derecha de", "encima de", "debajo de", "dentro de" y "fuera de". Si está usted sentado frente a mí, desde su punto de vista este puño está a la derecha de esta mano extendida, y lo mismo puede aplicarse a todas las demás posiciones [mueve la mano en el aire, siempre a la derecha del eje vertical creado por su puño]. "A la derecha de" define una categoría, y aunque mueva mi mano arri-

ba y abajo, todas esas posiciones se tratan como equivalentes. Esto es útil para hacer algo como puede ser reconocer una forma humana, puesto que las relaciones espaciales categóricas entre mis antebrazos y mis brazos, mis piernas y mis muslos, la cabeza y el cuello, el cuello y el cuerpo, etcétera, no cambian. Las partes que están "conectadas a" otras partes (relación espacial categórica también) permanecen siempre así, sin importar cuánto contorsione mi cuerpo. Las descripciones de la disposición de las partes atendiendo a sus relaciones espaciales categóricas son una ayuda para reconocer objetos, porque si almacenamos en la memoria una imagen literal, es posible que una posición erguida case bien con ella, pero si me inclino hacia delante y trato de tocarme la punta de los pies, la imagen resultante no casará.

Sin embargo, las relaciones espaciales categóricas no son útiles en absoluto para llegar a un punto u orientarse. El hecho de saber que este puño está a la izquierda de la palma de la otra mano no me permitirá tocarla con precisión; necesito saber cuál es su posición exacta en el espacio. Si doy vueltas por una habitación y lo único que sé es que la mesa está delante de mí, esa información no va a serme de ayuda, porque "delante de mí" es una relación categórica y por lo tanto es válida para una cantidad infinita de posiciones relativas. No es suficientemente precisa para orientarse. Debido a ello, propongo un segundo tipo de relación espacial, a la que denomino coordinada: en relación con un origen, se especifican la distancia métrica y la dirección.

En mi laboratorio, hemos podido probar que el hemisferio cerebral izquierdo tiene mayor aptitud para cifrar relaciones espaciales categóricas, lo cual es lógico, puesto que las categorías suelen estar basadas en el lenguaje; mientras que el hemisferio derecho es más apto para cifrar relaciones espaciales coordinadas, y esto es igualmente lógico, dado que este

hemisferio tiene mayor sentido de la orientación. Hemos construido toda una colección de modelos de red neuronal que muestran que, si se divide un modelo (una red) en dos corrientes separadas, una para cada tipo de representación, funcionan mejor que si se tiene un único sistema que trate de hacer ambos tipos de representaciones: las categóricas y las coordinadas. La cuestión no es tanto que los hemisferios sean diferentes, sino que el cerebro depende de dos formas claramente distintas de cifrar las relaciones espaciales. Esta afirmación causó una pequeña controversia. No hace mucho, me llenó de alegría leer en el *Journal of Cognitive Neuroscience* que algunos investigadores –a los que yo no conocía– habían hecho pruebas a 100 personas a las que, por razones médicas, se les había desconectado uno u otro hemisferio cerebral, y los resultados mostraron que, al encontrarse estas personas ante tareas desafiantes en las que debían hacer una valoración basándose, bien en las relaciones espaciales categóricas, o bien en las coordinadas, los efectos de la lateralidad, tal como yo había predicho, habían funcionado de un modo espléndido.

Ésta es en realidad sólo una pequeña parte de lo que hago, y está en última instancia relacionada con mis investigaciones de la creación de imágenes. Siempre he declarado que la creación de imágenes debe ser entendida dentro de un sistema que incluya representaciones enunciativas de tipo lingüístico además de representaciones gráficas descriptivas. Nunca he pensado que la mente trabaje sólo con imágenes; es obvio que no puede ser así, que su trabajo ha de depender de la coordinación de muchos tipos diferentes de representaciones que interactúan de maneras interesantes e intricadas. La diferenciación entre los dos tipos de representaciones espaciales introduce una nueva diferenciación entre distintas formas de imágenes que hacen uso de los diferentes tipos de relaciones espaciales, y

de hecho tenemos pruebas de esta diferenciación. Una conclusión clara al respecto es que la creación de imágenes no tiene una cualidad única y homogénea.

¿Por qué está así organizado el sistema subyacente a la formación de imágenes? Buena pregunta. Dan Dennett, Steve Pinker y sus colegas han encontrado una vía para abordar esta cuestión tan fundamental. Estos teóricos tratan de hacer efectivo el programa de la psicología evolucionista. En lugar de considerar que la evolución determine la conducta, estudian la posibilidad de que la estructura modular del procesamiento de información que se realiza en el cerebro sea consecuencia de la evolución. Es un programa muy interesante y creo que tendrá un brillante futuro. Ahora bien, tengo mis dudas de que en este momento pueda considerarse una empresa empírica en modo alguno. La ciencia es un proceso de descubrir. Para descubrir, es cierto que uno ha de realizar estudios; resulta útil tener como base una teoría que ayude a dirigir la atención hacia determinados problemas y cuestiones, pero luego uno tiene que investigar de verdad.

Si me pidieran ustedes que explicara la dirección que de forma ostensible seguirá la ciencia de la mente, les diría que está próximo a tenderse un puente entre la neurociencia cognitiva –que concibe la mente como la actividad del cerebro– y la genética. Éstas son las dos áreas de predominante interés en este momento, y hay un abismo entre ellas.

Durante la redacción de un libro de texto de introducción a la psicología, leí mucho sobre la genética de la conducta, y me sorprendió que toda una serie de personas intentara salvar la distancia entre los genes y la conducta de un solo salto. Se ha de decir que no están teniendo mucho éxito, como al tratar de conectar, por ejemplo, la variabilidad de la conducta con la variabilidad de los diferentes tipos de alelos; a veces consiguen casar el 2% de las variaciones. Se me ocurrió que lo que

ocurre es que han eliminado al intermediario. Quieren aplicar el modelo: genes → conducta, cuando sería mucho mejor utilizar el modelo: genes → cerebro, y después cerebro → conducta; es decir, los genes influyen en la conducta y en la cognición a través de cómo actúan sobre el cerebro. Pensar en esto ha despertado en mí un gran interés por la genética, pero no de la genética como prototipo. La mayoría de los genes del cerebro humano parecen sujetos a una regulación al alza o a la baja dependiendo de las circunstancias; se activan y desactivan.

He aquí un ejemplo (desarrollado por el psiquiatra Steven Hyman, que casualmente es el rector de Harvard en la actualidad) que ilustra lo que trato de decir: si uno quiere fortalecer sus músculos, hace levantamiento de pesas. Si las pesas son excesivamente pesadas, causarán una lesión en los músculos; esa lesión producirá un efluvio de sustancias químicas, que llegarán al núcleo de las células del músculo y activarán los genes que fabrican proteínas y fortalecen las fibras musculares. Esos genes se activan sólo como respuesta al reto medioambiental, y por eso uno tendrá que seguir levantando pesas cada vez más pesadas. El refrán «Lo que sin esfuerzo se gana, nada vale» es literalmente cierto en este caso, pues de no existir esa interacción con el medio ambiente, esos genes no se activarían; de hecho, estarían desactivados si no se hiciera frente a ciertos retos. Lo mismo puede aplicarse al cerebro. Desarrollar nuevas espinas dendríticas, o incluso reabastecer los neurotransmisores, depende de que los genes estén activados o desactivados en respuesta al cerebro, y esto sucede a su vez en respuesta a los retos medioambientales.

Me fascina por completo la Cuestión por Excelencia: cómo los genes hacen posible que el cerebro responda a las tareas que se presentan. Cuando los genes se activan y desactivan, esto afecta a la actividad de las neuronas, lo cual, por supues-

to, influye entonces en cómo se distribuye la sangre, y esto a su vez influye en la cognición y la conducta. Existe un gigantesco proyecto, aún por realizar, que dará a la psicología el lugar que le corresponde entre el resto de las ciencias naturales. Una vez conseguido esto, será posible pasar de lo fenomenológico (fenómenos tales como las imágenes mentales) al procesamiento de información (fenómenos que uno puede modelar en el ordenador) y al cerebro. Comprenderemos entonces cómo surgen en el cerebro determinados tipos de procesamiento de información, pasando por el funcionamiento de las neuronas, incluida la bioquímica, hasta llegar a la biofísica y al modo como los genes son regulados al alza o a la baja.

Es algo que va a suceder; no me cabe la menor duda. Y cuando ocurra, vamos a tener una comprensión de la naturaleza humana muy superior a la que jamás se haya tenido en la historia de la humanidad. Si queremos comprender la evolución, su producto último son los genes. Así pues, ¿por qué no estudiar los genes si uno quiere comprender las razones que hay detrás de la organización del cerebro? Existen razones por las que tenemos esos genes y no otros; aquí es donde entra la historia evolutiva. Pero mi cerebro en particular, o el de ustedes, es tal como es, no sólo por sus genes particulares, sino también por el modo como el medioambiente reguló esos genes al alza y a la baja durante su desarrollo, esculpiendo así nuestros cerebros de determinada forma, y por el modo como nuestros genes responden a los retos medioambientales y endógenos. Todo esto puede tratarse empíricamente. Tenemos las herramientas necesarias, las preguntas están claras, y sabemos el tipo de respuestas que buscamos. ¡Es hora de poner manos a la obra!

Parte II:

¿MACHINA SAPIENS?

EL SOFTWARE ES UN SOLVENTE CULTURAL

JORDAN B. POLLACK

Mi trabajo consiste en intentar comprender la complejidad biológica y cómo podemos crear sistemas de igual complejidad; porque las limitaciones de la ingeniería del software están muy claras desde hace ya dos décadas. Los mayores programas que se pueden crear actualmente tienen alrededor de 10 millones de líneas de código, cuando un objeto biológico real –un ser vivo, un ecosistema, un cerebro– tiene una complejidad equiparable a 1.000 millones de líneas de código. ¿Cómo podemos llegar a eso?

JORDAN B. POLLACK es profesor de informática y sistemas complejos en la Universidad de Brandeis, Massachusetts. Sus investigaciones experimentales sobre inteligencia artificial, vida artificial, redes neuronales, evolución, sistemas dinámicos, juegos, robótica, tecnología de la educación y el aprendizaje en las máquinas han ocupado a menudo un lugar destacado en el *New York Times* así como en *Time*, *Science*, *NPR* y otros medios de comunicación de todo el mundo. Pollack es un inventor prolífico; asesora en su puesta en marcha a una diversidad de nuevas corporaciones, y en su tiempo libre dirige Thinmail, dedicado a la creación de software para mejorar las comunicaciones a través del correo electrónico y la telefonía inalámbrica.

Es una era maravillosa, ésta en la que vivimos: la era inmediatamente anterior a la convergencia con el mecanicismo, en el que nuestros ordenadores no estarán ya separados de nosotros sino que formarán parte de nuestro cuerpo. La gente habla ahora de cómo Internet, la televisión y el teléfono han pasado a ser artículos personales que nos acompañan allá adonde vamos, pero estamos también en el siglo de la fusión de la bioinformática, la biotecnología y el procesamiento de la información. Una vez que entendamos los procesos celulares y las representaciones neuronales y desarrollemos tecnologías microelectrónicas y a escala nanométrica, nuestros artefactos

serán capaces de interactuar con nuestra biología en el nivel más fundamental. Desgraciadamente, sin embargo, no hemos alcanzado todavía a comprender suficientemente la complejidad de la naturaleza como para saber qué hacer con ello.

Mi trabajo consiste en intentar entender la complejidad biológica y cómo podemos crear sistemas de igual complejidad; porque los límites de la ingeniería del software están muy claros desde hace ya dos décadas. Los mayores programas que se pueden crear actualmente tienen alrededor de 10 millones de líneas de código, cuando un objeto biológico real –un ser vivo, un ecosistema, un cerebro– tiene una complejidad equiparable a 1.000 millones de líneas de código. ¿Cómo podemos llegar hasta ahí? En mi laboratorio intentamos esclarecer el tema de la autoorganización, valiéndonos para ello de la evolución, las redes neuronales, los juegos, la resolución de problemas y la robótica. Mediante todo esto tratamos de establecer en el software reacciones químicas no equilibradas que disipen el tiempo computacional –una forma de energía– y crear una estructura. Una parte de esa estructura podemos materializarla en forma de robots. Ahora bien, aunque los robots tienen un atractivo mucho mayor para las cámaras y los medios de comunicación que los instrumentos destinados a la resolución de problemas, los juegos y el aprendizaje lingüístico, el principal objetivo de nuestras investigaciones es entender de dónde nace la complejidad en sí misma, sin la intervención de un diseñador.

La idea que perseguimos con la creación de robots es similar a la que rige la industria de la herramienta. No hay ninguna herramienta de uso general; hay taladros, tornos, sierras, fresadoras y otros útiles que cumplen funciones específicas. Lo mismo haremos nosotros: fabricaremos robots específicos para fines específicos. No serán autómatas para todo uso –del tipo de Rosie, la asistenta-robot de los Jetson–; serán disposi-

tivos electrónicos que servirán para quitar la nieve del camino, limpiar la piscina, un desagüe o aspirar una habitación. En mi opinión, pasarán siglos antes de que haya polifacéticos robots humanoides. Hacia donde está encaminado el trabajo en este campo es hacia una industria robótica que, posiblemente en la próxima década, fabricará cientos de diferentes máquinas, tontas y con un fin específico; aparatos, en definitiva, tan complicados como las impresoras de inyección de tinta o los cajeros automáticos, que son los auténticos robots de hoy en día. Suelo definir un robot como un programa informático acoplado a una pieza de hardware, que trabaja día y noche, justificando así además lo que se ha invertido en crearlo. Por otra parte, los robots pueden incluso dejar a la gente sin trabajo. En el caso de las impresoras de inyección de tinta, los desempleados son los copistas; en el de los cajeros automáticos, los empleados de banca. Está claro que van a producirse algunos trastornos.

Desde 1976 he trabajado también en el campo de los microordenadores, esos pequeñísimos ordenadores que hoy están por todas partes: dentro de las cámaras de fotos, dentro de las grabadoras. Al parecer, ¡el nuevo ratón de Apple lleva un superordenador incorporado! Estamos llegando a la era en que el ordenador será un elemento más de nuestra indumentaria; creo que los nuevos teléfonos Blackberry y los PDA [Personal Digital Assistant, Asistente personal digital] son realmente el principio de los ordenadores "ponibles" [*wearable computers*]. Todos hemos visto a personas con los auriculares de su teléfono móvil puestos todo el día. No son los ordenadores que expertos e idiotas habían augurado, pero la gente los lleva consigo a todos lados enganchados en el cinturón, haciendo uso de ellos constantemente, y evolucionarán hasta convertirse en algo muy parecido al comunicador de ciencia-ficción: voz con vídeos, MP3, fax y correo electrónico. Será algo in-

corporado a nuestra vida en todo momento, y, como sociedad, no habrá nada que nos detenga.

Habrá a quienes, desde luego, la idea de estos ordenadores ponibles les suene a yugo electrónico. Pero lo que está ocurriendo, inexorablemente, es que, aun cuando se supone que el mundo es más pequeño, nuestras redes de relaciones sociales están formando redes cada vez más amplias. Me comunico con personas de Atlanta, Washington, California, Nueva York, de hecho, con personas de todo el mundo. Tengo mayor movilidad, y viajo más; y a la vez, el número de mensajes de correo electrónico que proceso a diario ha ascendido de 10 a 100. ¡Y en un par de años serán 300 al día! Vemos que la inteligencia artificial tiene aquí una función, a medida que los mensajes de e-mail y de teléfono móvil aumentan.

He diseñado, por ejemplo, un filtro flexible para el correo electrónico. Puedo decirle que, de esos 300 mensajes, sólo quiero ver 50 cada día, pero que aun así me gustaría tener noticia de los otros 250; no quiero que ninguna máquina se deshaga de nada hasta que yo haya decidido que no me interesa recibir más correos de este o aquel proveedor. Ahora bien, quiero que esos 50 mensajes se seleccionen atendiendo a mi orden de prioridades, y éstas son flexibles y cambian de día en día: querré, supongamos, ver la respuesta de alguien a quien he escrito últimamente, y aunque el presidente de los Estados Unidos tal vez no se encuentre en mi "lista de íntimos", no me gustaría pasar por alto un correo suyo. Técnicas de inteligencia artificial bastante sencillas pueden, en esencia, tomar esos 300 mensajes diarios y elegir aquellos que probablemente a uno le interesarán más, sin eliminar a la vez nada que quepa la posibilidad de que a uno pueda interesarle mínimamente.

La demanda de un instrumento portátil para la comunicación que pueda realizar las tareas comunicativas necesarias

de un modo inteligente es cada vez más una prioridad. Por eso es el Blackberry tan popular en este momento (es el primer ordenador ponible de uso generalizado), porque es capaz de reproducir casi a la perfección la vista de Outlook Express en el escritorio de un pequeño aparato que un ejecutivo puede llevar consigo a todos lados. Dentro de unos años, tendremos oculares que nos ofrecerán un panorama a todo color de nuestro escritorio en un pequeño dispositivo informatizado, ponible e inalámbrico. Ésta es la clase de proyectos que hay a la vista, y me entusiasma contribuir a hacerlos realidad.

Contemplemos ahora el problema de la robótica desde el punto de vista económico. Supongamos que yo pudiera fabricar un robot aspirador, que su fabricación me costara en conjunto 5 millones de dólares y que el precio de cada aspirador fuera de 5.000 dólares. Está claro que uno podría comprar un simple aspirador por 100 dólares y manejarlo él mismo, o contratar a alguien por 8 dólares a la hora para que lo hiciera. Los robots no son rentables; no hay un mercado masivo que justifique la inversión necesaria para crearlos. Para llegar al robot humanoide de todo uso lo suficientemente barato como para que uno pueda alquilarlo en vez de contratar a un ser humano, queda un largo camino por recorrer.

Lo que en mi laboratorio intentamos en este momento es prescindir de los ingenieros humanos –del carísimo talento humano con precio fijo– en el proceso del diseño de los robots, a fin de poder hacer robots económicos en pequeñas cantidades. Puede que un determinado diseño de robot se emplee sólo en una, tres, o quizá cinco copias. Un robot que asista en una cadena de producción manufacturada puede que dure sólo seis meses, es decir, no lo suficiente para amortizar la inversión de ingeniería. Únicamente cuando el precio de un robot sea aproximadamente equiparable al coste de los materiales empleados en fabricarlo, serán económicamente efectivos

sin que exista una producción en masa. Por lo tanto, nuestro empleo de un diseño y una manufactura totalmente automáticos no creará los robots replicantes de la ciencia-ficción, sino que utiliza software para diseñar en una realidad virtual una máquina destinada a cumplir una función concreta, y luego automáticamente construye la máquina. Esto no es temible; es rentable. El contar con un diseño automático, con un software capaz de inventar, y que de hecho inventa, empieza a plantear la pregunta que los jugadores de ajedrez que habían tenido como oponente a un ordenador plantearon hace ya tiempo: si jugar al ajedrez es una actividad verdaderamente humana y el ordenador empieza ahora a hacerlo también, ¿qué nos dice esto sobre la humanidad?

La vida es en sí misma un principio organizativo, y su escala de complejidad hace que parezca insignificante la ingeniería del software. En mi laboratorio tratamos de responder a una pregunta básica de la biología: «¿Cómo puede un sistema disipar energía y generar luego una y otra vez una estructura informacional? ¿Cómo puede un programa informático reproducirse a sí mismo empleando nada más que tiempo informático?». En cierto sentido, éste es un enfoque computacional y termodinámico de la vida artificial, en oposición a lo que sería un enfoque de la vida meramente basado en la ingeniería del software. Cuando alcancemos esos 10.000 millones de líneas de código, sabremos si hemos tenido éxito o hemos fracasado. La idea tradicional –la computación simbólica tradicional, la separación del cerebro como hardware y la mente como software– es muy influyente, pero en última instancia es una idea equivocada, porque la metáfora computacional de programas en serie que operan sobre estructuras de datos discretos no capta realmente la riqueza de los sistemas naturales. La idea tradicional de Von Neumann sencillamente no es lo bastante rica para captar lo que sucede en el mun-

do natural. Y con esto no me refiero a que esté imbuida del poder mágico del alma, sino a que debemos expandir drásticamente la idea de cómo se representa la información más allá de la computación simbólica tradicional.

Hemos estudiado sistemas caóticos, fractales, sistemas dinámicos, tanto atractores como transitorios, todos los cuales son muy diferentes de la tradicional estructura de datos y algoritmos que habitualmente forma parte de los estudios de informática. Es una idea muy pobre si se compara con lo que sucede en los sistemas naturales. ¿Qué recetario tiene Dios que hace posible que la composición de las cosas presente nuevos y sorprendentes comportamientos en el universo entero? ¿Por qué al combinarse el hidrógeno y el oxígeno forman algo que tiene una larga fase líquida y tan extrañas propiedades de congelación? Son inmensas las posibilidades de comportamiento presentes en mezclas aleatorias de sustancias químicas orgánicas, mientras que las sucesiones aleatorias de códigos máquina (ejecutados directamente por el CPU) son en un 99,9% inservibles.

Algunas nociones tradicionales, tales como el sistema de patentes, son lugares donde se puede ver esta transición con gran claridad. Una rueda es una pieza de hardware: es un objeto, lo hemos torneado, es redondo, rueda y soporta un peso. Pero hay además una pieza de software que dice: «Por cada i, de 1 a 360, trazar r, siendo zeta el ángulo», ¡y ya hemos creado una rueda en software! Ahora bien, tradicionalmente la oficina de patentes ha rechazado el algoritmo por considerar que forma parte de la naturaleza, que forma parte de Dios, y por tanto no se puede patentar, pero a lo largo de aproximadamente los últimos quince años, se ha permitido patentar software, se ha permitido patentar incluso estrategias comerciales. El software es lenguaje, y lo consideramos propiedad intelectual y registramos los derechos de reproducción; es un lengua-

je que describe, de la forma más minuciosamente detallada, lo que ha de hacer una máquina. Lo que hacen un ordenador, un compilador o un intérprete para la programación de idiomas es dar vida a ese texto; la máquina operará siguiendo exactamente lo descrito en ese texto. Un ordenador puede tomar la descripción de un círculo –los puntos que forman un círculo– y convertirla en una rueda virtual dentro de un entorno virtual. El software es un solvente que hace desaparecer la frontera entre lo que es virtual y lo que es real, entre el texto y la invención.

Parte del entusiasmo que despertó nuestra concepción de robots de diseño automático fue provocado por la idea de que habíamos salvado la distancia y retornado del mundo virtual a la realidad. El software mismo era el artífice de invenciones dentro de un ordenador –invenciones que en otra época podían patentarse. El final de esa frontera entre el texto y la invención es algo que tiene un profundo efecto en la sociedad y en los ámbitos académicos. El software no sólo ha acabado con la diferencia entre texto e invención, sino que acaba con la separación entre lo que hasta ahora poseíamos y lo que alquilábamos. La propiedad misma ha empezado ya a redefinirse en la era de la información. Solíamos comprar un libro, y el libro entonces pasaba a ser nuestro. Pero ese libro abarcaba en realidad tres cosas en una: por una parte estaban las palabras, el contenido informativo; por otra, el medio físico a través del cual había llegado a nosotros, el papel y la tinta que servían de soporte a las palabras; y la tercera parte era el contrato social y legal, la licencia que decía: «Puede usted comprar este libro, y cuando lo haya leído puede conservarlo en su biblioteca, pasárselo a un amigo o venderlo en un mercadillo, pero no puede hacer copias de él y venderlas». Esos tres componentes –el medio, el contenido y la licencia– están separados en la era de la información.

Quizá usted crea, por ejemplo, que ha comprado cierto software a Microsoft, pero si lee bien la licencia verá que se trata de un acuerdo legal que dice que usted no ha comprado esto, que lo que ha comprado es un permiso para usarlo, y a continuación se especifican las condiciones de uso: no puede venderlo separado de su ordenador; no puede tener dos copias del mismo; no puede regalar una copia a un amigo aunque usted no lo esté usando, ya que forma parte de su ordenador. Por otro lado, el contenido inicial cambia; se le obliga a usted a actualizarlo, lo cual supone que debe comprarlo una y otra vez, a pesar de que ya lo comprara al principio. Y por último, ese software llega a usted a través de un disquete, del disco duro, de la unidad Zip, de una tarjeta CompactFlash, o bien lo descarga usted de Internet.

El hecho de que los tres componentes de un libro se hayan disociado significa que las oportunidades de rentabilizarlo son enormes (vendiendo el mismo contenido ilimitadamente) y también son enormes las oportunidades para el abuso. Tanto la Gestión de Derechos Digitales como el Uso Compartido de Archivos son movimientos que operan en contra de la propiedad, entendida como la posesión de algo hasta que uno lo vende. Creo que la mayor amenaza a la condición humana no es el abaratamiento de los robots sino el fin de la propiedad privada, el momento en el que no podamos ser propietarios de nuestros libros, discos, vídeos y software. En la era de la información necesitamos entrar en un nivel más profundo, y entender la propiedad como una serie de derechos. La llegada a nuestras vidas del replicante de Star Trek, cuyos antecesores pueden verse hoy día en las máquinas impresoras capaces de crear prototipos rápidos y tridimensionales, significará que, al igual que los libros, que los CD y el software, los objetos duros podrán también copiarse. Un día, Ford no será ya una industria automovilística, sino una compañía de

propiedad intelectual que, bajo licencia, le permitirá a uno utilizar un complejo diseño para ordenar y combinar la materia. Uno no será propietario del T-Bird 2030, sino que únicamente habrá adquirido la licencia para conservar los átomos de esa configuración durante tres años.

A corto plazo --digamos cinco años-- no habrá grandes diferencias. En lo que a ordenadores se refiere, veremos más o menos los mismos modelos portátiles que hay ahora sólo que con una potencia cada vez mayor y con más puertos incorporados. En cuanto a los teléfonos móviles, tendrán sistemas de correo electrónico y un asistente personal digital o PDA (Personal Digital Assistant) mejor integrados, y puede que veamos algunos dispositivos multimedia inalámbricos muy interesantes. Pero, como en el caso de la telegrafía, la red entera se verá frenada por el más lento común denominador, y el mensaje de texto vía e-mail será la clave de Morse de esta era. No tengo muchas esperanzas puestas en la 3G (la tercera generación de información inalámbrica, que promete la banda ancha), puesto que es demasiado cara para resultar práctica, y por esa razón he puesto mis energías en comercializar uno de mis inventos.

¿Y en cuanto a la robótica? La industria robótica, tal como es hoy día, está dirigida a ofrecer maquinaria muy cara a industrias cuyos beneficios de producción son lo bastante altos como para justificar lujos tales como el encapsulado de circuitos integrados (chips), medicamentos o software. No preveo muchos cambios en el campo de la robótica antes de 2005,* pero para 2010 creo que nuestros proyectos de automatizar diseño y manufactura pueden tener algún impacto. Con la adecuada inversión y paciencia, veo claramente cómo crear una

* Opinión del autor en 2003, cuando se editó esta obra en los Estados Unidos *(N. del T.)*

industria de robots multiuso capaz de diseñar y manufacturar máquinas sencillas para el ámbito industrial y el recreativo, lo cual significa dar un giro a la idea tradicional de fabricar un robot humanoide esclavo que puede hacerlo todo. Una tecnología capaz de producir robots de bajo coste con un comportamiento puramente reflejo, y específicos para una diversidad de tareas –tareas de montaje, militares, de limpieza, recreativas, incluso tareas domésticas–, quizá podría derivar en una industria rentable y autosostenible, y en un cambio cultural que nos llevará de nuevo a diseñar y manufacturar bienes *reales*, en vez de material punto com.

LA SEGUNDA VENIDA: UN MANIFIESTO

DAVID GELERNTER

El tema de la Segunda Era, que ahora se aproxima, es que la computación trasciende a la computadora. La información viajará a través de un mar de ordenadores anónimos e intercambiables igual que la brisa a través de la hierba crecida. Un ordenador de escritorio será un hoyo excavado en la playa, del que la información del ciberespacio brotará como agua de mar.

DAVID GELERNTER, profesor de informática en la Universidad de Yale y científico en jefe de *Mirror Worlds Technologies*, es una de las principales figuras de la tercera generación de investigadores de la inteligencia artificial y el inventor de un lenguaje de programación, llamado Linda, que permitió conectar varios ordenadores para intentar resolver juntos un mismo problema. Desde entonces se ha revelado como uno de los pensadores más influyentes en el campo conocido como informática paralela o distribuida. Es autor de *Mirror Worlds*, *The Muse in the Machine*, *Drawing a Life*, y *1939: The Lost World of the Fair*.

En cualquier microsegundo ya, la informática experimentará una transformación. No es sólo que nuestros problemas sean graves; son graves y obvios. No es sólo que las soluciones sean simples; son simples y las tenemos delante de las narices. Y no es que el hardware esté más avanzado que el software: el último gran paso en sistemas operativos fue el Macintosh hace casi veinte años; y el más novedoso artículo del momento es Linux, una versión de Unix, que fue novedad en 1976. Las aplicaciones comerciales de software están por lo general mal diseñadas, mal hechas, son incomprensibles y están obsoletas; y los usuarios reaccionan a esa dura verdad culpándose a sí mismos (como prueban *Informática para tontos*, o *Windows para* dummies). Pero el cambio está cerca; ya falta poco.

Ahora bien, por más cierta que sea su eventual venida, un acontecimiento cuyo momento y forma exactos de llegar nos son desconocidos se desvanece cuando imaginamos el futuro. Tenemos tendencia a no creer en la próxima gran guerra, en el próximo gran vaivén económico, y, por supuesto, no creemos en la próxima gran revolución del software. Porque no creemos en el cambio tecnológico (únicamente lo decimos), nos encogemos de hombros y aceptamos productos informáticos de mala calidad. Encontramos la manera de trabajar con ellos, les sacamos el mayor partido, y (como fatalistas campesinos franceses del siglo XVI) casi no advertimos sus defectos, en lugar de exigir que se corrijan y que los productos cambien.

Todo está disponible. Todo cambiará. La ley de Orwell para el futuro: «Toda nueva tecnología que pueda intentarse, se intentará». Lo mismo que la mano invisible que, decía Adam Smith, guiaba a las economías capitalistas hacia una riqueza cada vez mayor, la ley de Orwell es un hecho de la vida. La miniaturización fue el gran tema en la Primera Era de los ordenadores: aumento de potencia, caída de precios, ordenadores para todos. El tema de la Segunda Era, que ahora se aproxima, es que la computación trasciende a la computadora. La información viajará a través de un mar de ordenadores anónimos e intercambiables igual que la brisa a través de la hierba crecida. Un ordenador de escritorio será un hoyo excavado en la playa, del que la información del ciberespacio brotará como agua de mar. Los ordenadores en sí nos interesarán cada vez menos: lo verdaderamente importante en astronomía es el cosmos, no los telescopios; y lo verdaderamente importante en la informática son el ciberespacio y las ciberestructuras que hay en él, no los ordenadores que utilizamos a modo de telescopio o de sintonizador.

Los sistemas de software de los que más dependemos hoy día son los sistemas operativos (Linux, Macintosh OS, Win-

dows y otros) y los navegadores (Internet Explorer, Netscape Communicator, etcétera). Los sistemas operativos son conectores que enlazan a los usuarios con sus ordenadores: acoplan al ordenador que hay en un extremo, el usuario que hay en el otro; y los navegadores enlazan a los usuarios con ordenadores remotos: los "servidores" de Internet. Pero hoy día, estos sistemas operativos y navegadores están obsoletos, porque la gente ya no quiere estar conectada a un ordenador, ni cercano ni remoto. Probablemente nunca lo haya querido: la gente quiere estar conectada a la información. El futuro de la informática se basa en los cuerpos cibernéticos: colecciones de información autónomas, minuciosamente ordenadas y bellamente expuestas, como gigantescos jardines inmaculados. Uno se acercará a cualquier "sintonizador" (un ordenador situado en casa, en el trabajo, o en el supermercado; o un televisor, teléfono o cualquier clase de dispositivo electrónico) e introducirá una "tarjeta de llamadas" que es la identificación del cibercuerpo. El sintonizador entonces lo sintoniza, y el cibercuerpo llega y se instala, igual que se posa un azulejo en la rama de un árbol.

Toda la vida electrónica de uno estará almacenada en un cuerpo cibernético, y uno podrá convocarla desde cualquier sintonizador en cualquier momento. Al introducir su tarjeta de llamadas, uno habrá personalizado cualquier aparato electrónico que toque, pues mientras su tarjeta esté alojada en su interior, la máquina conocerá las costumbres y preferencias de uno mejor de lo que las conoce uno mismo. El futuro estará repleto de ordenadores, proliferarán por todas partes con exuberancia, como el musgo español. Se aglomerarán como las langostas. Pero un enjambre no es meramente una gran multitud: los individuos que lo forman pierden su identidad, y así, los ordenadores de este enjambre global formarán un todo armonioso con la sustancia perfecta de la ciberesfera. Dentro

del enjambre, los ordenadores individuales serán igual de anónimos que las moléculas del aire. Un cuerpo cibernético será distribuido a muchos ordenadores; puede habitar muchos ordenadores a un tiempo, y habrá una réplica de ese cibercuerpo en cada uno de ellos. Si los ordenadores de la ciberesfera son las baldosas que cubren la superficie de un patio, un cibercuerpo es la sombra de una nube que pasa, oscureciendo varias baldosas simultáneamente.

Internet cambiará de modo radical antes de morir. Cuando uno entra en un sitio Web remoto, en realidad pasa muy por encima de la potencia de su ordenador de sobremesa y utiliza la lejana potencia de un servidor de red. Usar nuestro potente ordenador de sobremesa como mero canal para llegar a sitios Web –es decir, para llegar a través de él a aquello que está más allá de él, en vez de usar lo que hay en él– es como alquilar un Hyundai y tener el Porsche guardado en el garaje, o como ejecutar programas almacenados en disco en vez de en la memoria principal o en el caché. Ante la Web, el escritorio es impotente. Ahora bien, el poder de las máquinas de escritorio es un imán que dará la vuelta a ese «¡Venga, todo a la Web!», tan en auge en este momento. La potencia del escritorio inevitablemente extraerá información de los servidores remotos y la volcará en los escritorios. Si un millón de personas hacen uso simultáneamente de una página Web, ¿significa eso que hará falta reforzar el servidor remoto para tenerlas a todas contentas? No. Podríamos trasladar ese sitio Web a un millón de escritorios y emplear Internet para su coordinación. El sitio Web es como una unidad militar en el campo de batalla, donde el general avanza con sus tropas, o como un equipo de jockey y su movimiento continuo de arremolinarse. (Ésta fue esencialmente la técnica que utilizamos para las primeras implementaciones del programa de espacios n-uplas: parecían depender de un servidor común, pero el servidor era una

ilusión; no había servidor, sino sólo un enjambre de clientes.) ¿Podría Amazon.com ser una horda itinerante en vez de un puesto de comando central? Sí.

PROBLEMAS EN LA SUPERFICIE Y DEBAJO DE LA SUPERFICIE

La interfaz ventanas / menús / ratón / escritorio, que inventaron Xerox y Apple y que es ya universal, fue una invención brillante, y ahora está obsoleta. Ocupa buena parte del espacio de pantalla con imágenes que no significan nada; no nos da pistas adecuadas de lo que hay dentro de los archivos representados por esas pequeñas imágenes imprecisas; obliga a los usuarios a elegir iconos del escritorio, cuando el sistema podría elegirlos mejor él mismo, y les tiene ocupados recolocando ventanas –como guardas que reorganizaran automóviles en un diminuto aparcamiento de Manhattan– en una batalla perdida por lograr una vista del espacio de trabajo despejada de obstáculos, lo cual finalmente no hay modo de conseguir. Esa vista libre de obstáculos no existe.

Los iconos y "ventanas contraídas" parecen nuevos, pero ya los conocíamos. Cualquier libro ofrece una vista "contraída" o "iconizada": concretamente, su lomo. Un icono nos ofrece mucha menos información que el lomo de un libro normal y es mucho más pequeño. ¿Debería necesariamente ser mucho más pequeño? ¿Podría una fila horizontal de "lomos de libro" encabezando la pantalla ser más útil que un revoltijo de iconos?

El ratón de ordenador fue un excelente invento, pero hoy vemos que está mal diseñado. Como cualquier instrumento que haya de ser movido y situado con precisión, debería devolver una respuesta táctil, y no lo hace.

Las metáforas influyen decisivamente en la informática. La metáfora del escritorio nos tiene atrapados en una ancha, en lugar de profunda, disposición de los datos, lo cual, considerando las dimensiones de una pantalla de ordenador, es fundamentalmente un error. Un escritorio real puede ampliarse fácilmente (uno puede hacer uso de cajones, mesas auxiliares, del suelo); una pantalla no. Apple pudo haber definido su interfaz como un "paisaje informativo" en vez de como un "escritorio". «Hemos inventado este paisaje –podían haber explicado– del modo en que un arquitecto paisajista o un diseñador de parques temáticos inventa un paisaje. Hemos inventado un espacio ideal para ver, organizar y utilizar información computarizada. Aunque se trata de un paisaje imaginario, puede usted entrar en él y desplazarse por él. La pantalla del ordenador es el parabrisas de su vehículo, es la careta de su casco de buceo.» Pero con la metáfora del escritorio, la pantalla *es* la interfaz: veinticinco o treinta centímetros cuadrados de colores brillantes en un panel de cristal. En la metáfora del paisaje, en cambio, la pantalla es meramente una ventana que nos permite ver; y al mirar por ella, uno ve la verdadera interfaz que se abre tras el cristal.

La informática moderna está basada en una analogía entre ordenadores y archivadores, que es errónea y afecta casi a cada movimiento que hacemos. Los ordenadores son esencialmente distintos de los archivadores, puesto que tienen la capacidad de actuar. Son máquinas, no muebles. La metáfora del archivador nos tiene atrapados en un modo de relacionarnos con la información que es pasivo en vez de activo. El rígido sistema de archivos y directorio que nos impone nuestro Mac o PC fue diseñado por programadores y para programadores; y para los programadores continúa siendo un buen sistema. Ahora bien, para quien no es programador, no sirve; no ha servido nunca, ni estaba ideado para que sirviera.

Si uno tiene tres perros, les pone un nombre; si tiene 10.000 cabezas de ganado, obviamente ni se lo plantea. Lo mismo ocurre con los ordenadores: en la actualidad, la idea de poner un nombre a cada archivo es disparatada. La normativa establecida para nombrar archivos tiene serias consecuencias: no sólo nos obliga a inventar nombres cuando no son necesarios, sino que nos impone límites a la hora de manejar una clase importante de documentos, que son los que recibimos del mundo exterior. Por ejemplo, un mensaje de correo electrónico que acaba de llegar, no puede existir por sí mismo como documento separado; no puede aparecer, cuando realizamos una búsqueda, alineado junto a otros archivos, existir solo en el escritorio, ni uno puede abrirlo o imprimirlo independientemente. No tiene nombre; así que, cuando llega, ha de enterrarse dentro de algún archivo existente (el archivo de correo) que sí tiene nombre. Lo mismo puede aplicarse a los faxes y fotos que se reciben, a las marcas de página Web, a las imágenes escaneadas, etcétera.

No debería ser necesario colocar los archivos en directorios. Los directorios deberían encargarse ellos mismos de recogerlos y colocarlos; y si a un archivo le corresponde estar en seis directorios, los seis deberían encargarse de incluirlo automática y simultáneamente. Debería estar permitido que un archivo no tuviera nombre, que tuviera uno o muchos; y muchos archivos deberían poder compartir un nombre común a todos ellos. Debería estar permitido que un archivo no estuviera en ningún directorio, que estuviera en un directorio o en muchos; y muchos archivos deberían poder compartir un directorio. De estas ocho posibilidades, sólo tres son legales, mientras que las otras cinco están prohibidas, ¡a saber por qué!

CORRIENTES VITALES

En un principio, los ordenadores trabajaban principalmente con números y palabras; en la actualidad trabajan mayormente con imágenes; en el período que ahora se abre, trabajarán fundamentalmente con tiempo tangible. Las cronologías y las líneas de tiempo resultan un tanto extrañas en el mundo del papel, ajeno a la computación, pero son naturales en el ámbito cibernético.

Los ordenadores hacen del orden alfabético algo obsoleto. Los archivadores y las mentes humanas son ambos sistemas de almacenamiento, y, si quisiéramos, podríamos modelar una forma de almacenar información computarizada al estilo de la mente, y no del archivador. Los elementos almacenados en la mente no tienen nombres y no están organizados en carpetas; los recuperamos, no atendiendo a su nombre o carpeta, sino a su contenido (oímos una voz, pensamos en un rostro: hemos recuperado un recuerdo que contiene la voz como componente); uno puede ver todo lo que hay en su memoria desde el ángulo del pasado, del presente y del futuro. Cuando utilizamos un archivador, clasificamos la información en el momento de introducirla; las mentes, en cambio, clasifican la información cuando se extrae de ellas. (Ayer a las cuatro de la tarde, paseaba usted con Natasha por la Quinta Avenida, bajo la lluvia, tal como podrá recordar al pensar en la Quinta Avenida, en la lluvia o en Natasha. Sin embargo, usted no puso esas etiquetas a los recuerdos cuando los *adquirió*. La clasificación se hizo en retrospectiva.)

Una "corriente vital" organiza la información, no como un archivador, sino de forma parecida a como lo hace la mente. Una corriente vital es una secuencia de toda clase de documentos –todos los documentos electrónicos, fotografías digitales, aplicaciones, marcadores de páginas Web, tarjetas Ro-

lodex, mensajes de e-mail, y cualquier otro trozo de información digital de su vida– ordenados del más antiguo al más reciente; una secuencia que crece constantemente a medida que llegan nuevos documentos, en la que es fácil navegar y buscar, y con un pasado, un presente y un futuro que aparecen en la pantalla como una procesión recesiva de fichas. Los documentos no tienen nombre y no hay directorios; uno recupera los elementos por su contenido: "Quinta Avenida" produce una subcorriente de todos los documentos que mencionan esas dos palabras. Una subcorriente (por ejemplo, la corriente "Quinta Avenida") es como un directorio convencional, salvo por el hecho de que se genera a sí mismo automáticamente. Atrapa nuevos documentos según llegan. Un documento puede formar parte de muchas subcorrientes, y una subcorriente tiene la misma estructura que la corriente principal: un pasado, un presente y un futuro; un fluir uniforme.

Una corriente fluye porque el tiempo fluye, y la corriente es una representación concreta del tiempo. Una línea de "Ahora" separa el pasado del futuro. Si tiene usted una reunión mañana a las diez de la mañana, coloca usted un documento de recordatorio en el futuro de su corriente: mañana a las diez. La corriente fluye de modo estable hacia el "Ahora", y cuando "Ahora" es igual a diez de la mañana del día siguiente, el recordatorio salta sobre la línea de "Ahora" y fluye hacia el pasado. Cuando mira usted el futuro de su corriente, ve sus planes y citas, que fluyen pausadamente del futuro al presente, y después al pasado. Una corriente vital es un paisaje donde uno puede navegar o volar en cualquier nivel. Volar hacia el origen de la corriente es un viaje en el tiempo al pasado.

Para trabajar con una corriente vital, uno emplea dos mecanismos básicos de control: "poner" y "enfocar", que más o menos se corresponden con adquirir un nuevo recuerdo y recordar uno ya existente. Para enviar un e-mail, pongo un do-

cumento en la corriente de otra persona; para añadir una nota a mi calendario, pongo un documento en el futuro de mi propia corriente; para continuar trabajando en un viejo documento, pongo una copia a la cabeza de mi corriente. Enviar correos electrónicos, actualizar un calendario y abrir un documento son tres ejemplos de una misma operación: poner un documento en una corriente.

El objetivo de las corrientes vitales no es cambiar una estructura de software por otra, sino cambiar por completo la premisa de la información computarizada: dejar ya de crear los célebres archivadores, y empezar a crear mentes artificiales abstractas simplificadas en las que almacenar nuestras vidas electrónicas. La corriente vital (o algún otro sistema con las mismas propiedades) llegará a ser la más importante estructura organizadora de información del ámbito informático, porque incluso una somera imitación de la mente humana es muchísimo más potente que el más sofisticado archivador que jamás se haya concebido. Las corrientes vitales (en su forma preliminar) son hoy día un exitoso producto comercial; no obstante, mis predicciones nada tienen que ver con el producto en sí. El producto, puede que finalmente sea un éxito o un fracaso; pero la idea triunfará. A finales de 2002 sacamos una versión beta de nuestro sistema de escritorio de corriente vital, y las descargas llegaron a 10.000 en dos semanas; ya no es tan imposible de creer que nuestro propio software será el ganador.

Las películas, los espectáculos de variedades televisivos, los museos virtuales y otros productos culturales de diversa índole, desde sinfonías a partidos de béisbol, se archivarán en corrientes vitales. También las instituciones circularán por el ciberespacio. Su automóvil, su escuela, su empresa, y usted mismo son todos vehículos de una sola vía que avanzan en el tiempo, cada uno dejando un cibercuerpo en forma de co-

rriente (como la estela de un avión) tras de sí al pasar. Esas estelas de experiencia cristalizada representarán nuestra primera respuesta a una difícil pregunta: ¿qué es una compañía, una universidad, cualquier clase de organización o institución existente, si su personal, sus clientes y sus propietarios pueden todos cambiar, si sus edificios pueden ser derribados, y su emplazamiento puede sustituirse por otro distinto? ¿Qué queda? ¿Qué *es* realmente? La respuesta: una corriente vital en el ciberespacio. Cada empleado tiene una "vista privada" de la corriente comunal de la compañía, así como acceso a ella. El sitio Web de la compañía será la subcorriente de acceso público derivada de la corriente principal de la compañía, y ésta es una aproximación electrónica de las memorias de la compañía: su mente comunal.

Las corrientes vitales no tendrán como resultado una oficina en la que el papel haya dejado de existir. La idea de la oficina sin papel es un error, puesto que el papel es uno de los medios de comunicación más útiles y valiosos jamás inventados. Pero las corrientes vitales harán del papel de oficina un medio simplemente temporal: para uso, no para almacenamiento. "Sobre el papel" es un buen lugar para la información que uno necesita usar; no es un buen lugar para la información que necesita almacenar. En la oficina basada en la corriente vital, uno escaneará cada documento recién creado o recién recibido en papel, lo pondrá en la corriente, y tirará a la papelera la versión en papel. Cuando necesite un documento en papel, lo buscará en la corriente, lo imprimirá y lo usará. Si uno ha hecho anotaciones mientras lo usaba, lo escaneará de nuevo para volver a ponerlo en la corriente, y después lo tirará.

En la actualidad empleamos el escáner para transferir la imagen electrónica de un documento a un ordenador; pronto el escáner será un puerto de entrada al ciberespacio, un "bu-

zón" para todo uso. De cualquier objeto que uno ponga en el buzón, el sistema creará una precisa trascripción física tridimensional y la depositará en el pozo oscuro y fresco del ciberespacio. De ese modo, la ciberesfera empezará a adquirir simplemente una ligera semejanza con la riqueza de textura de la vida real. Sabremos que el nuevo sistema funciona cuando una mariposa entre revoloteando en el buzón y unos segundos más tarde salga revoloteando aún; pues en ese breve intervalo, el sistema habrá transcrito la apariencia de esa criatura y habrá analizado su modo de moverse. La mariposa real habrá dejado una "mariposa-sombra" tras de sí. En algún momento, poco después, mientras uno examina algún tedioso documento electrónico, una cibermariposa aparecerá en la esquina inferior izquierda de la pantalla (quizá una *Hamearis lucina*) y se posará allí, ocultando por unos instantes el texto y mostrando, pulcramente plegadas, sus alas de color teja con dibujos naranja en forma de ojos, como un estampado de cachemir; y al cabo de unos segundos, habrá cruzado la pantalla y se habrá desvanecido.

Imaginen un futuro así. Lo mejor de tener mucho dinero (según dicen) es que uno ya no necesita pensar en el dinero. En el futuro tendremos abundancia de tecnología, y lo mejor de ello será que ya no nos hará falta pensar en la tecnología. Retornaremos con gratitud y alivio a las cuestiones que de verdad importan.

CREAR SISTEMAS VIVOS

RODNEY BROOKS

Mi crisis de los 40 en el terreno de la investigación me ha llevado a apartar la mirada de los robots humanoides y a dirigirla hacia una pregunta muy simple: ¿qué hace que algo tenga vida?, ¿cuáles son los principios organizativos que actúan dentro de los sistemas vivos? En mi laboratorio del MIT intentamos crear robots que tengan propiedades de los sistemas vivos que los robots nunca han tenido hasta el momento.

RODNEY BROOKS es director del Laboratorio de Inteligencia Artificial del Massachusetts Institute of Technology (MIT), y ocupa en el mismo centro la cátedra Fujitsu de Informática. Es también presidente y jefe técnico de iRobot, empresa dedicada a la robótica. El doctor Brooks fue uno de los cuatro actores principales de la película de Errol Morris, *Fast, Cheap and Out of Control* [Rápido, barato y descontrolado], que toma su título de uno de los artículos de Brooks publicado en la revista *Journal of the British Interplanetary Society*. Es autor de los libros *Flesh and Machines* [*Cuerpos y máquinas*] y *Cambrian Intelligence*, entre otros.

Cada nueve años más o menos, cambio la dirección de mi trabajo científico. En 2001 abandoné la fabricación de robots humanoides para reflexionar sobre la diferencia entre la materia viva y la materia inerte. A un lado tenemos una organización de moléculas y es una célula viva; al otro, hay una organización de moléculas y es sólo materia. ¿Qué es lo que da vida a algo?

En estos últimos años, nuestras vidas han empezado a girar desmesuradamente en torno a la informática; hemos querido creer que la informática lo explica todo. De niño, tenía un libro que describía el cerebro como una centralita telefónica. Otros libros anteriores lo habían descrito como un sistema hidrodinámico o una locomotora de vapor. Más tarde, en los años sesenta, se convirtió en un ordenador digital. En los ochen-

ta, en un ordenador digital enormemente paralelo. Probablemente haya por ahí algún libro infantil que diga que el cerebro es exactamente igual que la World Wide Web (WWW), por todas sus asociaciones. Constantemente, lo que hacemos es tomar la mejor tecnología del momento y usarla como metáfora del ente más complejo que conocemos: el cerebro. Y ahora hablamos de la computación.

Pero tal vez seamos más que computación; tal vez haya algo más allá de la computación, puesto que la computación no basta para comprender ni para describir lo que sucede dentro de los sistemas vivos. Cuando creamos modelos computacionales de sistemas vivos –tales como un sistema capaz de evolucionar, o un sistema inmunológico artificial–, no son igual de resistentes ni ricos que los sistemas vivos reales. ¿Quizá se nos escapa algo? Pero ¿qué podría ser ese algo?

Uno podría aventurar la hipótesis de que quizá lo que nos falta sea algún aspecto de la física que aún no hemos logrado entender. Esta idea es la que el filósofo David Chalmers ha aplicado al tratar de explicar la conciencia. El matemático Roger Penrose la aplica hasta cierto punto cuando dice que el pensamiento surge de efectos cuánticos en los microtúbulos de nuestras neuronas; lo que él busca es algún aspecto de la física que ya entendemos pero que no somos capaces de describir con suficiente perspicacia.

En tiempos de Kepler y Copérnico, para describir lo que sucedía en el sistema solar se usaban la observación, la geometría y el álgebra; pero sólo cuando se dispuso del cálculo se tuvo un buen modelo de lo que sucedía y fue posible hacer predicciones. Mi hipótesis de trabajo es que, en nuestra comprensión de la complejidad, estamos atascados en la etapa del álgebra y la geometría. Necesitamos comprender alguna otra herramienta, algún principio organizativo, para poder describir lo que de verdad ocurre.

Por eso, mi crisis de los 40 en el terreno de la investigación me ha llevado a apartar la mirada de los robots humanoides y a dirigirla hacia esa pregunta tan sencilla: ¿qué hace que algo tenga vida?, ¿cuáles son los principios organizativos que actúan dentro de los sistemas vivos? En mi laboratorio del MIT intentamos crear robots que tengan propiedades de los sistemas vivos que los robots nunca han tenido hasta el momento. Es un laboratorio interdisciplinario, con estudiantes procedentes de todas las áreas del instituto, aunque la mayoría están especializados en informática. Tenemos especialistas en ingeniería eléctrica, estudiantes de ciencias cognitivas y del cerebro, de ingeniería mecánica, y en la actualidad incluso algunos estudiantes de aeronáutica y astronáutica, pues existe cierta presión para enviar sistemas autónomos al espacio. Nuestro trabajo se concreta en una mezcla de material teórico y aplicado. Intentamos crear robots capaces de repararse a sí mismos, de reproducirse (aunque estamos aún muy lejos de la autorreproducción), dotados de metabolismo y que puedan encargarse de buscar la energía que necesitan para mantenerse. Tenemos en este momento un robot que da vueltas por los pasillos, y es capaz de encontrar enchufes y conectarse. El siguiente paso es hacer que se esconda durante el día, y que por la noche salga y se enchufe. Estamos intentando fabricar robots, no de silicio y acero, sino de materiales menos rígidos, menos tradicionales; materiales más parecidos a aquéllos de los que estamos hechos nosotros. Nuestro mantra es que vamos a fabricar un robot de gelatina. No en sentido literal, pero ésa es la imagen que tenemos en nuestra mente.

Nuestro trabajo combina la teoría y la aplicación práctica. En iRobot, tras tres años de pruebas, hemos puesto en marcha la producción de un robot que baja a los pozos petrolíferos. Tiene 5 centímetros de diámetro y 14 metros de longitud, y

obligatoriamente ha de ser autónomo, ya que allá abajo no es posible comunicarse por radio. Todo indica que, para manipular los pozos petrolíferos mientras están en producción, se necesita una infraestructura que, desde la superficie, empuje un cable grueso a lo largo del pozo. Esto puede significar varios kilómetros de cable, lo cual significa toneladas de cable situadas a la espera en la superficie, o en un barco anclado sobre el pozo que va empujando el cable hacia las profundidades a través de segmentos de tubería de 90 centímetros colocados uno a continuación de otro sucesivamente durante días y días. Nuestros robots pueden bajar a esos pozos petrolíferos –donde la presión es de 10.000 psi a 150 grados centígrados– y transportar instrumentos, hacer mediciones diversas o detectar una posible entrada excesiva de agua en el pozo. Cuando un pozo petrolífero se tiene bajo control, la producción a lo largo de la vida de ese pozo puede duplicarse, pero hasta ahora ha sido demasiado caro ejercer ese control debido a la colosal infraestructura que se necesitaba. El precio de estos robots oscila alrededor de los 100.000 dólares. Pueden recuperarse, ya que no tiene sentido dejarlos allá abajo obstruyendo el flujo de petróleo (en una perforación de tamaño estándar, incluso un robot de cinco centímetros de diámetro hace que pronto se produzcan obstrucciones). No tenemos posibilidad de comunicarnos con ellos, pero hemos provocado fallos intencionadamente para ponerlos a prueba –además de otros que han surgido mientras estaban allá abajo y que no estaban previstos– y, en todos los casos, los robots han sido capaces de reconfigurarse y salir a la superficie.

Las aplicaciones prácticas de mayor éxito durante los cinco últimos años han tenido lugar en el campo de la cirugía. Empleando técnicas de visión computarizada, hemos fabricado robots que registran toda clase de imágenes durante una operación quirúrgica. Se puede tener al paciente dentro de una má-

quina MRI [Magnetic Resonance Imaging] que formará imágenes de resonancia magnética mientras se le opera. Se toman mediciones aproximadas, a continuación se registran con las precisas mediciones que resultan de las imágenes de resonancia magnética tomadas previamente con una máquina más grande, y se le ofrece entonces al cirujano una auténtica representación tridimensional del interior del cerebro de un paciente al que se está sometiendo a cirugía cerebral. En uno de los más prestigiosos hospitales de cirugía cerebral de Boston, los cirujanos están asombrados de la eficacia de los sistemas de inteligencia artificial desarrollados en nuestro laboratorio. Las primeras veces que los aparatos se pusieron en funcionamiento, había en el quirófano estudiantes universitarios que se veían obligados a reiniciar Unix en los momentos más críticos. Ahora todo eso queda ya muy atrás y no es necesario que ningún miembro de nuestro personal esté presente. Todo está en manos de los cirujanos y del personal clínico, y funciona muy bien.

Estamos trabajando también en experimentos computacionales a gran escala. De entrada, uno podría llamarlos simulaciones, pero dado que no necesariamente simulamos nada real, prefiero llamarlos experimentos. Estamos intentando responder a una diversidad de preguntas referentes a los seres vivos. Un estudiante, por ejemplo, trata de averiguar cómo puede surgir de la reproducción unicelular la reproducción pluricelular. Uno ve cómo funciona la reproducción unicelular, pero ¿cómo se convirtió en reproducción pluricelular, cuando el nivel de organización interna es tan distinto en una y en otra? En la reproducción unicelular, algo crece, y entonces se divide en dos; en la pluricelular, se crean diferentes clases de células. Ésta es una cuestión importante a la hora de especular acerca de la aparición prebiótica de autoorganización en medio de la sopa de sustancias químicas que era la Tierra. Intentamos con-

cebir cómo ocurrió la autoorganización, cómo inició la secuencia de instrucciones de la evolución darwinista, cómo surgió de ello el ADN, y así sucesivamente. La actual creencia es que el ADN forma parte de la esencia, pero podría ser que hubiera aparecido mucho más tarde, como mecanismo regulador.

En otros experimentos computacionales estamos estudiando y modelando el desarrollo neuronal de animales muy simples, como los platelmintos policládidos, que tienen un cerebro primitivo pero adaptable, con alrededor de 2.000 neuronas. Si tomamos a un platelminto y le extirpamos el cerebro, su comportamiento habitual cambia, pero es capaz de sobrevivir. Si a continuación tomamos el cerebro de otro platelminto y lo insertamos en el platelminto al que hemos extirpado el cerebro, al cabo de unos días será capaz de ejecutar bastante bien todos sus comportamientos habituales. Si entonces giramos el cerebro 180 grados y lo insertamos dado la vuelta, el gusano caminará un poco hacia atrás los primeros días, pero pronto volverá a la normalidad, gracias a este cerebro que se adapta y experimenta un nuevo crecimiento y autoorganización. Averiguar cómo sucede todo esto en un organismo relativamente simple es el objetivo de todos estos proyectos.

Los sistemas biológicos crecen desde una gran simplicidad hasta formas cada vez más complejas. ¿Cómo se produce esa mecánica de crecimiento? ¿Cómo surge, de materiales flexibles, una cualidad de rigidez? En el aspecto computacional estoy intentando elaborar un interesante sustrato químico, que esté relacionado con la física y tenga una estructura de la que, en una simulación física, sea posible obtener curiosas combinaciones a partir de componentes simples, de modo que las propiedades de los sistemas vivos puedan surgir por autoorganización espontánea. La pregunta es qué tipo de influencias medioambientales se necesitan. En la miscelánea prebiótica de la Tierra había mareas, y había tormentas regulares cada

tres o cuatro días. Unas y otras desempeñaban un importante papel en el proceso de diversificación, al que contribuían el calentamiento y enfriamiento debidos al ciclo del día y la noche. Con todo esto batido termodinámice de sustancias químicas, es posible que ciertas arcillas se aglutinaran y empezaran a autoorganizarse; aun así, había que llegar desde la estructura del cristal a este tipo de organización. ¿Cuál es la composición química más sencilla en la que puede originarse esa autoorganización? ¿Cuáles son sus propiedades clave? Obviamente, nuestra composición química las tenía.

Hemos avanzado mucho desde los primeros experimentos en inteligencia artificial. En los años cincuenta, cuando John McCarthy celebró aquella famosa reunión de seis semanas en Dartmouth donde acuñó el término "inteligencia artificial", la creencia general era que la clave para comprender la inteligencia radicaba en ser capaz de resolver los problemas que a los licenciados del MIT y del Carnegie Tech les resultaban difíciles. Allen Newell y Herbert Simon, por ejemplo, elaboraron programas que podían empezar a demostrar algunos de los teoremas de los *Principia Mathematica* de Russell y Whitehead; a otros, como Alan Turing y Norbert Wiener, les interesaba el ajedrez, algo que incluso para muchos licenciados de escuelas técnicas entraña una dificultad. Toda la concentración estaba puesta en el logro de objetivos intelectuales. Lo que todos ellos pasaron por alto fue la importancia que tiene nuestro cuerpo, nuestra percepción del mundo, como base de nuestro pensamiento. En gran medida ignoraron el sentido de la vista, que realiza buena parte del procesamiento que ocurre dentro de nuestra cabeza. Hoy día, en los algoritmos aplicados a la vista en el campo de la robótica, podemos crear funciones como la de reconocer y rastrear un rostro; de hecho, rastrear el movimiento es algo que hacemos ya muy bien. Pero seguimos sin lograr el reconocimiento de objetos básí-

cos. No hemos conseguido que un sistema identifique la grabadora o las gafas que hay sobre una mesa, algo que un niño de tres años es capaz de hacer. En los primeros tiempos se consideraba que éstas eran tareas demasiado fáciles, que todo el mundo podía hacerlas, y no se pensó, por tanto, que en ellas pudiera estar la clave. Solía llevar entonces conmigo un memorándum –el Memorándum n.° 100 de Inteligencia Artificial del MIT– escrito por Seymour Papert. Papert había asignado a un estudiante universitario resolver, como trabajo de verano, la cuestión de la vista; pensó que sería sencillo, y que un estudiante podría liquidarlo en tres meses. Pero no fue así. Con el tiempo, nos hemos dado cuenta de que la vista, el procesamiento del sonido y los inicios del lenguaje bien podrían ser la clave de cómo está organizado nuestro cerebro, y de que todo lo que se ha ido construyendo sobre esa base es lo que nos hace humanos y nos da nuestro intelecto. Hay en este momento una forma enteramente nueva de abordar la creación de robots intelectuales, por así decirlo, basada en la percepción y el lenguaje; un enfoque que no se había planteado en los primeros tiempos.

Estamos intentando generar algunos principios matemáticos, derivados de estos robots y experimentos computacionales. Son principios, desde luego, lo que realmente buscamos, pero mi metodología de investigación no es tratar de llegar a algo así de un modo directo; uno puede sentarse cruzado de brazos y especular durante años. Intento crear sistemas reales, y luego derivar de ellos ciertas generalizaciones. Si nuestros experimentos y los de otros tienen éxito y alcanzamos a comprender cómo interactúan los diferentes canales dentro de un sistema vivo para crear ese sistema, entonces esa base hará posible un nuevo nivel tecnológico. Entonces dispondremos de los fundamentos que nos permitirán manipular material biológico del mismo modo que, en los dos últimos

siglos, hemos aprendido a manipular el acero y más tarde el silicio. Dentro de cincuenta años, nuestra infraestructura tecnológica y nuestros cuerpos tal vez no se diferencien, por tratarse en uno y otro caso de los mismos procesos.

CREAR MENTES

HANS MORAVEC

Quizá sea posible que ciertos programas implementen de modo abstracto una inteligencia semejante a la del ser humano en ordenadores ya existentes, tal como imaginan los investigadores que tienen un enfoque simbólico de la inteligencia artificial. Quizá, como imaginan también, concebir esos programas requiera el trabajo de toda una vida de genios de talla mundial. Pero puede que no sea tan fácil.

HANS MORAVEC es un destacado investigador científico en el Robotic Institute de la Carnegie Mellon University de Pittsburg, y autor de *Mind Children* y *Robot*.

Los ordenadores se inventaron en una época reciente para mecanizar los tediosos métodos manuales de procesamiento de información. Dichos métodos fueron inventados a su vez durante los últimos 10.000 años, a medida que fueron resultando insuficientes para las civilizaciones agrícolas los instintos sociales a escala de poblado. Esos instintos habían ido apareciendo en nuestros antecesores homínidos durante varios millones de años de vida no civilizada, y se desarrollaron a partir de los mecanismos perceptivos y motores que habían evolucionado en el linaje de los vertebrados a lo largo de cientos de millones de años.

La contabilidad y sus derivaciones se sirven de nuestras ancestrales facultades para manipular objetos y seguir instrucciones. Reconocemos símbolos escritos, igual que nuestros antepasados identificaban frutos y setas; utilizamos lápices, igual que ellos blandían espadas; aprendemos a multiplicar y a integrar por partes, lo mismo que ellos aprendían en su vida comunal procedimientos para cocinar o construir tiendas de campaña. La burocracia emplea técnicas muy evolucionadas, pero de un modo antinaturalmente limitado e implacable. Si nuestros antepasados trabajaban en un marco visual, táctil y

social complejo, alerta a las sutiles oportunidades y amenazas, un empleado administrativo maneja un puñado de símbolos muy simples trazados sobre una superficie monótona, y si perder un fruto no tenía grandes consecuencias para un recolector, pasar por alto un dígito puede invalidar la totalidad de un cálculo.

El estado de alerta a la periferia que permitía sobrevivir a nuestros antepasados, para el oficinista es una distracción; la atención a la textura del papel, al olor de la tinta, a la forma de los símbolos, a la sensación que la silla produce al tacto, al ruido que llega desde el vestíbulo, a los ruidos de la digestión, a las preocupaciones familiares, etcétera, pueden desbaratar el trabajo en curso. La labor del empleado administrativo es ardua, mucho más por las aptitudes y cualidades humanas que debe reprimir que por la minúscula parte de ellas que de hecho utiliza.

Igual que si se pretende que en la superficie de un profundo pantano turbulento aparezcan suaves ondulaciones, el cálculo y otros tipos de procedimientos mentales son posibles sólo una vez que la turbulencia subyacente se ha calmado. Los seres humanos consiguen esta quiescencia, de modo imperfecto, mediante una intensa concentración; sería mucho más sencillo poner fin por completo al abismo: las ondulaciones se expanden con mucha mayor suavidad en un embalse poco profundo, y los números son más fáciles de manejar mediante piedras de cálculo o cuentas de ábaco que en la memoria humana. En el siglo XVII, los engranajes de la calculadora de Blaise Pascal hacían sumas mejor y más rápido que la mente humana. En el siglo XIX, la máquina analítica de Charles Babbage habría superado con mucho los cálculos de docenas de computadoras humanas y eliminado sus errores. Si estos aparatos resultaron eficientes fue porque codificaban las partes superficiales de la información utilizada en el cálculo,

y no los millones de procesos que se agitan en las profundidades del cerebro humano y que actúan a modo de distracción.

Sin embargo, los procesos profundos a veces son una ayuda. Adivinamos los dígitos del cociente de una larga división con un sentido de proporción que quizá nuestros antepasados emplearan para dividir la comida entre las bocas. Las calculadoras mecánicas, incapaces de adivinar, recorren una penosa trayectoria de restas sucesivas. Y lo que es más significativo aún, las pruebas geométricas están guiadas (¡y motivadas!) por nuestra profunda capacidad de ver puntos, líneas, formas, así como sus simetrías, similitudes y correspondencias. Un trabajo verdaderamente creativo es fruto, más de las emanaciones que brotan de nuestras profundidades que de los procedimientos manifiestos.

Las calculadoras dieron paso a los universales ordenadores de Alan Turing y crecieron hasta convertirse en miles, después millones, y en la actualidad casi decenas de miles de millones de unidades de almacenamiento y pasos de procedimiento por segundo. Al hacerlo, trascendieron sus orígenes meramente administrativos y adquirieron sus propias profundidades tenebrosas. Así, por ejemplo, un minúsculo error del sistema operativo puede dar vía libre a que un proceso informático estropee otro, igual que la distracción del oficinista llevado por sus pensamientos resultaba en el desbaratamiento de una operación. En el lado positivo está el que las enormes búsquedas sobrehumanas, como la búsqueda de datos en una tabla y ese tipo de acciones, pueden funcionar a veces como profundos procesos humanos. En 1956, las exhaustivas operaciones de búsqueda que realizaron Allen Newell, Herbert Simon y John Shaw encontraron pruebas como lo habría hecho un lógico humano novato. En 1963, el Demostrador de Teoremas de Geometría, de Gelernter, utilizó extensas búsquedas y aritmética coordinada cartesiana para igualar las in-

tuiciones visuales de un geómetra humano de razonable talento. Y en 1997, Deep Blue, gracias a una búsqueda a escala gigantesca, a libros sobre la apertura y el final del juego, y a unas evaluaciones del tablero cuidadosamente sintonizadas, venció al mejor ajedrecista del mundo.

A pesar de estos sondeos aislados, los ordenadores siguen siendo embalses poco profundos. Ningún programa de razonamiento se acerca siquiera a las profundidades sensoriales y mentales que habitualmente se manifiestan en la superficie del pensamiento humano. Muchos críticos subrayan el contraste entre la superioridad del ordenador en tareas memorísticas y sus deficiencias en cuanto a comprensión, y concluyen que las computadoras tienen una potencia prodigiosa, pero que la computación carece de algunos principios mentales del ser humano (de tipo físico, de ubicación, o sobrenaturales, según el gusto de cada cual). Algunos investigadores de la inteligencia artificial tienen un punto de vista parecido: sostienen que el hardware de un ordenador es suficiente, pero que ciertos problemas conceptuales complejos aún no resueltos nos impiden programar verdadera inteligencia. Esta última premisa parece plausible en lo que a razonamiento se refiere, pero es irrisoria en cuanto a la percepción sensorial. Los sonidos e imágenes procesados por el oído y el ojo representan varios megabytes por segundo de información bruta, lo cual basta para desbordar incluso a las computadoras actuales. Los programas de texto, discurso y visión derivan los significados de pequeños fragmentos de dichos datos, sopesando una y otra vez miles o millones de hipótesis. Al menos una parte del cerebro humano funciona de modo similar: aproximadamente diez veces por segundo por cada uno del millón de pixels reales de la retina, docenas de neuronas sopesan la hipótesis de que allí y en ese instante hay un límite estático o en movimiento a la vista. Los 10.000 millones de neuronas del córtex

visual elaboran esos resultados, ofreciendo a cada momento posibles orientaciones y colores en todas las posiciones de la imagen. Los programas eficientes de procesamiento de la visión por computadora necesitan realizar más de 100 cálculos cada uno para hacer evaluaciones semejantes. La mayor parte del cerebro continúa siendo un misterio, pero todas sus neuronas parecen operar con la misma diligencia que las del sistema de visión. En otro artículo he explicado con detalle el proceso de cálculo que realiza la retina, y he llegado a la conclusión de que harían falta aproximadamente 100 billones de cálculos informáticos por segundo –alrededor de un millón de PCs de hoy día– para asemejarse al extraordinario funcionamiento del cerebro.

Esta cifra lograría, presumiblemente, una emulación del cerebro en la escala de los detectores de bordes de imagen, unos 100.000 cálculos por segundo que realizarían la labor de unas 100 neuronas. Las exigencias computacionales se incrementarían (quizá mucho) si pidiéramos la emulación de un grano más fino, digamos la representación explícita de cada neurona. Al hacerlo, limitamos el espacio de las soluciones e impedimos la optimización global; sin embargo, esa limitación del espacio ¡simplifica la búsqueda! No hay necesidad de encontrar algoritmos eficientes para la detección de bordes y para otras funciones del sistema nervioso de la escala de 100 neuronas. Si dispusiéramos de buenos modelos de neuronas y de un diagrama del cerebro, podríamos emularlo como una sencilla simulación de una red, y los problemas de la inteligencia artificial se reducirían entonces a una inmensa tarea instrumental y computacional.

O bien podríamos intentar implementar las funciones del cerebro empleando un grano mucho más grueso; en este caso el espacio de las soluciones se expande, y con ello la dificultad de encontrar algoritmos globalmente eficientes, pero sus

requisitos computacionales disminuyen. Quizá sea posible que ciertos programas implementen de modo abstracto una inteligencia semejante a la del ser humano en ordenadores ya existentes, tal como los investigadores con un enfoque simbólico de la inteligencia artificial imaginan. Quizá, como imaginan también, inventar esos programas requiera el trabajo de toda una vida de genios de talla mundial. Pero puede que no sea tan fácil. Los programas que con mayor eficiencia exhiben una inteligencia humana podrían exceder la potencia y memoria de la actual variedad de PCs, e inventarlos podría ser de una dificultad sobrehumana. No lo sabemos. Bajo las ondulaciones del lago se oculta un fondo extremadamente turbio y que no hemos llegado aún a comprender.

Cada aproximación a igualar la inteligencia humana es interesante desde el punto de vista intelectual y genera beneficios prácticos inmediatos. Los programas de razonamiento son capaces de realizar mejor que los seres humanos tareas importantes, y muchos, por así decirlo, se ganan ya su manutención. La creación de modelos neuronales tiene gran interés para la biología y puede resultar útil en medicina, y hay eficientes programas de percepción que interesan a los biólogos y tienen utilidad en la automatización de procesos industriales y de registro de datos. Pero ¿qué método triunfará primero? La respuesta es, sin duda, una combinación de todas estas técnicas y de otras, aunque creo que la ruta de la percepción, actualmente desfavorecida, desempeñará el papel más importante.

Los programas de razonamiento son magníficos para tareas explicables conscientemente, pero resultan demasiado rígidos cuando se aplican a procesos más profundos. En parte, esto es simplemente debido a que las actividades de la insondable oscuridad del subconsciente eluden toda observación, pero también a que esos procesos profundos son cuantitativamente diferentes. Unos pocos fragmentos de los datos de un pro-

blema surcan como suaves ondas la superficie consciente, pero miles de millones de ruidosas señales neuronales bullen en el fondo. Los programas de razonamiento llegarán a ser más potentes y útiles en las próximas décadas, pero yo creo que el sentido común verbal en un sentido amplio, y no digamos la comprensión sensorial, seguirá fuera de sus posibilidades.

Tal vez en las próximas décadas, el rápido perfeccionamiento de los recursos instrumentales y computacionales haga posible simular sistemas nerviosos animales enteros –incluidas las señales hormonales y la plasticidad interconectiva–; dichas simulaciones acelerarán de forma notable la comprensión neurobiológica, aunque me temo que no lo bastante para ganar la carrera. Valentino Braitenberg, en un tiempo director del Instituto Max Planck de cibernética biológica, que trabaja en el análisis de sistemas nerviosos sencillos y ha diseñado algunos artificiales, apunta a la regla de "síntesis descendente y análisis ascendente", según la cual es generalmente más fácil tomar ciertas conductas y componer con ellas un circuito que describir cómo se las arregla para desarrollarlas un circuito ya existente. La insuficiencia de nuestra comprensión, y por tanto de los medios para modificar diseños, el coste de una simulación utilizando un grano muy fino, y los obstáculos éticos que se presentan en cuanto las simulaciones se aproximan a la escala humana son hechos todos ellos que ralentizarán la aplicación de las simulaciones neuronales. Por lo que sabemos, no ha sido posible desarrollar ninguna clase de inteligencia a escala humana a partir del razonamiento consciente ni de la simulación de procesos neuronales, y no sabemos realmente qué posibilidades tienen de hacerlo ninguno de los dos. Pero la tercera forma de abordar la cuestión es terreno conocido.

A raíz de la explosión cámbrica, hace 500 millones de años, aparecieron animales pluricelulares, con células especialmen-

te diseñadas para emitir señales. En un juego evolutivo basado en el arte de colocarse siempre en una situación de superioridad con respecto a los demás, las masas máximas de sistemas nerviosos se duplicaron cada quince millones de años, pasando de apenas unos microgramos, a varios kilogramos finalmente –aunque, eso sí, con varios bruscos retrocesos (a menudo seguidos de un nuevo desarrollo acelerado)– cuando los acontecimientos catastróficos acabaron con los animales más grandes. Nuestros artilugios, también, crecen de un modo exponencial en complejidad, sólo que 10 millones de veces más rápido. La visión a largo plazo y la cultura humanas hacen que todo avance a mucha mayor velocidad que la evolución darwinista desde su ceguera. La potencia de los ordenadores personales se ha duplicado cada año desde mediados de los noventa; los PCs de hoy podrían ser comparables a los minúsculos sistemas nerviosos de los insectos o de los vertebrados más pequeños (por ejemplo, el gobio enano, pececillo de un centímetro de longitud), pero para lograr una potencia similar a la del cerebro humano faltan treinta años todavía. Un desarrollo suficientemente vigoroso y con criterios de selección bien elegidos debería ser capaz de moldear de forma progresiva esa creciente potencia en fases análogas a las de la evolución mental de los vertebrados. A mi entender, una determinada clase de industria robótica hará esto de modo natural; no debería haber necesidad de grandes saltos intelectuales. Cuando la comprensión profunda falle, el proceso darwiniano de ensayo y error bastará. Cada antecesor nuestro, todo a lo largo del linaje que se extiende desde los primeros vertebrados diminutos hasta nosotros, lo fue por ser en su tiempo un superviviente; de un modo similar, la viabilidad comercial en curso seleccionará las mentes robóticas intermedias.

Construir máquinas inteligentes por este método es como ir haciendo que pequeños charcos se desborden para formar

un embalse. El control robótico existente y los programas de percepción parecen charcos fangosos, porque compiten en áreas de la más profunda pericia humana y animal. Los programas de razonamiento, aunque igual de superficiales, comparativamente brillan al ser capaces de realizar con eficiencia tareas con las que los seres humanos tienen dificultades, y de las que los animales no son capaces en absoluto. No obstante, si seguimos vertiendo sobre ellos, los charcos con seguridad se harán más profundos. Quizá esto no pueda decirse sobre los programas de razonamiento: ¿puede un charco llenarse de la superficie hacia abajo?

Muchas de nuestras capacidades sensoriales, espaciales e intelectuales evolucionaron para poder afrontar un estilo de vida en movimiento; en sus desplazamientos constantes, un animal ha de hacer frente a una incesante secuencia de novedosas oportunidades y peligros. Otras habilidades surgieron para poder superar los retos de la cooperación y competición en los grupos sociales. En otro artículo he esbozado un plan de desarrollo comercial de robots que plantea retos parecidos, y se requerirá una industria extensa y vigorosa para encontrar soluciones análogas. La industria actual es muy pequeña, y los robots más avanzados tienen una mentalidad semejante a la de un insecto, lo que significa que rara vez superan la labor humana, y esto es en trabajos excepcionalmente repetitivos o peligrosos. Pero tengo casi la certeza de que en esta década aparecerá un mercado de masas. Los primeros productos de amplia utilidad serán los sistemas de guía para el transporte industrial, y las máquinas de limpieza capaces de crear un mapa tridimensional y navegar de manera competente por espacios desconocidos y a las que un trabajador ordinario pueda enseñar con rapidez nuevas rutas. He desarrollado algunos programas capaces de hacerlo. Necesitan alrededor de 1.000 millones de cálculos por segundo, es decir, la poten-

cia cerebral de un pececillo como el guppy (*Lebistes reticulatus*). A las máquinas industriales les seguirá la puesta en el mercado de robots de uso doméstico. El primero quizá sea un pequeño robot aspirador autónomo, que traza el mapa de una vivienda, organiza sus propias rutas y plan de trabajo, se mantiene cargado y, cuando es necesario, vacía su bolsa de basura en un contenedor. Puede que a continuación aparezcan máquinas más grandes, con brazos para manejar objetos, y capaces de realizar diferentes tareas. Y la culminación, finalmente, serán los robots "universales" a escala humana, que podrán ejecutar programas de aplicación para los trabajos más simples, programas que sus mentes, a escala de lagartija, con sus 10.000 millones de cálculos por segundo ejecutarán con inflexibilidad reptiliana.

Este camino hacia la inteligencia de la máquina –progresivo, reactivo, oportunista y con objetivos comerciales– no precisa un mapa de gran alcance, sino que cuenta con uno ya existente en nuestra propia evolución. En las décadas siguientes a la aparición de los primeros robots universales, yo diría que emergerá una segunda generación de robots con potencia cerebral y capacidad cognitiva semejantes a las de un mamífero. Estos robots tendrán un mecanismo de aprendizaje condicionado, y elegirán entre caminos alternativos en sus programas de aplicación basándose en su experiencia pasada, adaptándose progresivamente a sus circunstancias particulares. Una tercera generación pensará como los pequeños primates, y retendrá modelos físicos, culturales y psicológicos de su mundo para ensayar mentalmente y optimizar las tareas antes de realizarlas. Una cuarta generación, semejante al ser humano, hará abstracciones y razonará tomando el mundo como modelo. Supongo que los sistemas de razonamiento serán adoptados del enfoque clásico de la inteligencia artificial criticado anteriormente en este ensayo. Los charcos habrán alcanzado las ondulaciones.

La robótica debería convertirse en la mayor industria del planeta ya desde una fase temprana de esta evolución, eclipsando a la industria informática, que alcanzó su elevado estatus por haber automatizado tareas marginales a las que solíamos llamar papeleo. ¡La robótica automatizará todo lo demás!

COMPUTACIÓN CUÁNTICA

DAVID DEUTSCH

Para mí, la principal aplicación de la teoría [de la computación cuántica] *es cambiar nuestra forma de entender la naturaleza de la realidad. Al margen de sus aplicaciones prácticas en un futuro lejano, lo que de verdad importa son sus repercusiones filosóficas –epistemológicas y metafísicas– y las repercusiones que tiene para la física misma. Entre ellas, hay una fundamental, que obtenemos incluso antes de elaborar el primer qubit* [bit cuántico]: *la estructura misma de la teoría nos impone la visión de la realidad física como un multiverso.*

Los ensayos de DAVID DEUTSCH sobre computación cuántica sentaron las bases para este campo de investigación; abrieron nuevos caminos tanto para la física como para la teoría de la computación y dieron un extraordinario ímpetu a la labor investigadora en todo el mundo. Su trabajo reveló la importancia de los efectos cuánticos en la física del viaje en el tiempo, y Deutsch es el más eminente investigador contemporáneo de la teoría cuántica de los universos paralelos. El Instituto de Física de la Gran Bretaña le concedió en 1998 el premio Paul Dirac «por su pionera labor investigadora en computación cuántica que introdujo el concepto de computadora cuántica, y por su contribución al entendimiento de cómo estos aparatos podrían construirse mediante compuertas lógicas cuánticas en redes cuánticas». Es miembro fundador del Centro de Computación Cuántica del Laboratorio Clarendon, en la Universidad de Oxford, y autor de *The Fabric of Reality* [*La estructura de la realidad*].

Las cuestiones que me planteo están relacionadas con las más profundas conexiones entre la física y la teoría de la computación. Debemos considerar la teoría Turing –la teoría tradicional de la computación– como una simple aproximación clásica a la verdadera teoría cuántica de la computación. En la actualidad tenemos conocimiento de una serie de problemas de la física teórica que podemos utilizar como valioso punto

de partida para formular preguntas computacionales –preguntas sobre cómo es, o no es, posible el procesamiento infomático. Uno de mis objetivos es crear una nueva *clase* de teoría: una teoría cuántica constructora, es decir, la teoría de lo que es posible crear o, de un modo más genérico, la teoría de lo que es posible hacer físicamente.

¿A qué tipos de cómputo corresponden los procesos físicos? ¿Cuáles de esos cómputos pueden realizarse, con qué medios, y cuáles de ellos no pueden realizarse de ningún modo? Lo que sabemos sobre este nuevo tema se reduce a una pequeña serie de grandes limitaciones, como el carácter finito de la velocidad de la luz. La teoría de la computabilidad y la teoría de la complejidad nos dan una visión cuántica más detallada. Pero en este campo, la gran pregunta tecnológica a la que todavía no hemos logrado responder es: ¿se pueden construir realmente ordenadores cuánticos *útiles*? Por lo que sabemos, las leyes básicas de la física lo permiten, lo que significa que podemos diseñarlos en teoría, pues sabemos qué operaciones físicas tendrían que ejecutar. Ahora bien, sigue existiendo la duda sobre si seremos capaces de construirlos con átomos reales y hacerlos funcionar de una manera útil. No puede decirse que éste sea siquiera un debate científico por el momento, puesto que no existe ninguna teoría científica sobre lo que es posible y no es posible construir.

Son preguntas similares a éstas las que plantea la gama entera de la nanotecnología que ha sido propuesta en principio. Por lo tanto, es aquí donde se necesita una teoría constructora cuántica, y se necesita porque la teoría cuántica es nuestra teoría básica del mundo físico. Toda construcción es construcción cuántica. La computación cuántica es un procesamiento de información que, para actuar, depende de alguna propiedad cuántica inherente, especialmente la superposición. Lo que haríamos normalmente es superponer un enorme número de di-

ferentes cómputos –potencialmente, más que átomos hay en el universo– y reunirlos por interferencia cuántica para obtener un resultado. Aparte de la criptografía cuántica, es poco probable que esta investigación tenga demasiadas aplicaciones prácticas a corto o medio plazo; sin embargo, nos proporciona algunos beneficios inmediatos. He aquí un ejemplo reciente de mi propio trabajo.

La mecánica cuántica, en la formulación tradicional, parece tener carácter no local, es decir, lo que uno hace *aquí* parece influir instantáneamente en lo que sucede *allá*. Desde el primer momento se ha sabido que no puede usarse la llamada no localidad para enviar señales, o sea información. Aun así, filosóficamente, ¿cuál es su significado? ¿En qué clase de realidad nos dice la mecánica cuántica que vivimos? Y por supuesto, es difícil no pensar: «Bueno, si *algo* llega allí instantáneamente, ese algo viaja a mayor velocidad que la luz. Por consiguiente, en un marco de referencia distinto, está viajando al pasado. Esto podría dar lugar a paradojas; ¿no podría eso resolver el problema de la conciencia, explicar la telepatía, convocar a los fantasmas?», o lo que uno prefiera. La "no localidad" es una de las ideas que han alimentado el espantoso misticismo y las ambigüedades que han ido creciendo en torno a la mecánica cuántica a lo largo de las décadas.

Sin embargo, en cuanto se entiende que la idea está basada únicamente en el procesamiento de la información, resulta mucho más fácil poner fin a las especulaciones carentes de rigor científico y empezar a calcular a dónde va a parar realmente la información en los fenómenos cuánticos. Y eso es lo que hicimos mi colega Patrick Hayden y yo en "Information Flow in Entangled Quantum Systems" [Flujo de la información en sistemas cuánticos entrelazados"], (*Proc. R. Soc. Lond.*, A456, 1759-1774, 2000). Los resultados ponen de manifiesto la tergiversación que se ha hecho del concepto de no

localidad: hacer cosas *aquí* puede influir en lo que sucede *allí* –de modo visible o invisible– sólo cuando la información de lo que uno ha hecho aquí ha viajado hasta allí a través de algún objeto físico capaz de transportar información. No tiene nada de instantáneo, nada de no local, nada de misterioso.

Los experimentos que supuestamente demuestran en el laboratorio la no localidad cuántica en realidad no hacen tal cosa. Demuestran el *entrelazamiento* cuántico, que es uno de los fenómenos cuánticos fundamentales, pero un fenómeno local. Resulta que cuando aparentemente algo ejerce una influencia no local, lo que en verdad está sucediendo es que una parte de la información contenida en los objetos cuánticos se ha vuelto inaccesible a la observación directa. De hecho, en nuestro análisis seguimos muy de cerca cómo viaja esa información durante el fenómeno del entrelazamiento. Nunca excede la velocidad de la luz, y siempre interactúa de forma puramente local. Por cierto, la presencia de esa información que es inaccesible de un modo directo puede considerarse precisamente como elemento responsable de la potencia de los ordenadores cuánticos. La profunda comprensión de algunos hechos obtenida en el curso de estas investigaciones nos ha llevado además en direcciones muy prometedoras.

En la actualidad estoy intentando profundizar en dos resultados indirectos de esa investigación. Uno de esos trabajos trata sobre la estructura del "multiverso", y su fin es precisar a qué nos referimos con términos que hasta ahora han sido objeto de tantas especulaciones, como "universos paralelos". Resulta que la estructura del multiverso está en buena medida determinada por el flujo de información cuántica que hay en él, y estoy aplicando las técnicas que utilizamos entonces para analizar ahora ese flujo de información. El otro trabajo es una generalización de la teoría cuántica de la computación para permitirle que describa ciertos tipos exóticos de flujo de

información tales como los que imaginamos que pueden existir en los agujeros negros y en el nivel de la gravedad cuántica.

Todo ello está en el contexto de mi convicción, cada vez más fuerte, de que la teoría cuántica de la computación *es* la teoría cuántica, puesto que aporta el lenguaje y el formalismo matemático más sencillos y claros para exponer la teoría cuántica propiamente dicha. Creo que los libros de texto de mecánica cuántica pronto empezarán a usar computaciones cuánticas como ejemplos introductorios, en vez de usar cálculos de los niveles de energía del átomo de hidrógeno y otros similares, en los que una gran parte de la información es irrelevante. A la computación cuántica le importa lo básico, porque la computación cuántica *es* lo básico.

A mi modo de ver, la principal aplicación de esta teoría es la de cambiar nuestra forma de entender la naturaleza de la realidad. Al margen de sus aplicaciones prácticas en un futuro lejano, lo que de verdad importa son sus repercusiones filosóficas —epistemológicas y metafísicas— y las repercusiones que tiene para la física misma. Entre ellas hay una fundamental, que obtenemos incluso antes de elaborar el primer qubit (*quantum bit* o bit cuántico): la estructura misma de la teoría nos impone la visión de la realidad física como un multiverso. Ya lo llamemos "el multiverso", "universos paralelos", "historias paralelas", "muchas historias" o "muchas mentes" (hay en este momento al menos media docena de variantes de la idea), lo que la teoría cuántica de la computación hace es obligarnos a revisar las teorías con las que explicamos el mundo, a reconocer que el mundo es mucho más grande de lo que parece.

Al decir "más grande", me refiero a lo siguiente: supongamos que tuviéramos que medir el tamaño de las cosas basándonos en la cantidad de información necesaria para describirlas. Para especificar la posición de los átomos de una sala

necesito tres números por átomo; cuantos más átomos quiera describir, más números necesitaré; cuanto más exacta quiero que sea esa descripción, más decimales necesitaré sacar. Si imagino lo que sería hacer esto para el universo entero, puede sonar a que la cantidad de información será inmensa, puesto que existen 10^{80} átomos en el universo conocido, por no mencionar otros grados de libertad. El volumen de información puede parecer por tanto inimaginablemente inmenso. Y sin embargo, es minúsculo comparado con el que sería necesario para especificar el estado computacional de un solo ordenador cuántico colocado en una mesa de trabajo de un laboratorio del futuro; en términos conceptuales, un ordenador cuántico es un objeto mucho más grande que la totalidad del universo clásico. Este hecho nos obliga a dar un cambio radical a nuestra visión del mundo.

Un ordenador cuántico sería un objeto mucho más complejo que el universo clásico en su totalidad. La totalidad de la realidad física es también así, por supuesto, y a veces la llamamos el multiverso. Al mirar a nuestro alrededor, vemos el universo clásico porque la mayor parte del multiverso escapa a nuestra percepción directa. Uno puede inferir la existencia de información cuántica oculta sólo indirectamente, como en los experimentos de entrelazamiento que he mencionado.

Para muchos, ésta fue una conclusión poderosamente atractiva incluso antes de que existieran los ordenadores cuánticos. La interpretación de los "muchos universos" se propuso en 1957, pero todos los argumentos previos a esta propuesta pueden considerarse argumentos cuánticos también. Aunque quienes los formularon no los consideraron de ese modo, eso es lo que eran. Decían: «Miramos a nuestro alrededor y lo que vemos es aproximadamente un universo clásico, y damos por hecho que tomar en consideración la mecánica cuántica podría añadir cierta cantidad de "material" adicional –como hizo

la relatividad– que se comporte de modo distinto; no obstante, continúa habiendo la misma cantidad de realidad que pensábamos que había». Pero eso no es de ningún modo lo que ocurre cuando se toma en consideración la mecánica cuántica. Cuando la mecánica cuántica se toma en consideración, la realidad se vuelve inmensa, exponencialmente más grande y más compleja de lo que presumía la física clásica.

Si el sistema es un ordenador cuántico, resulta obvio que hay en él "información oculta", simplemente por las respuestas que da. Pensemos en el algoritmo de búsqueda cuántica de Grover, por ejemplo; así es como funciona: vamos a imaginar que queremos descifrar un código, adivinar una clave secreta. Buscamos a través de todas las claves posibles. Dice un trivial teorema de la computación clásica que, si queremos buscar entre un billón de elementos desconocidos, generalmente tendremos que realizar un billón de operaciones físicas de algún tipo. Quizá podamos hacer algunas de ellas en paralelo, pero un ordenador sólo será capaz de hacer determinado número de ellas en paralelo al mismo tiempo. De un modo u otro, tenemos que hacer un billón de operaciones, así que si queremos usar el mismo ordenador para buscar a través de dos billones de cosas, hacerlo nos llevará al menos el doble de tiempo, y así sucesivamente.

Sin embargo, con un ordenador cuántico la cuestión se simplifica. En primer lugar, para hacer una búsqueda a través de una lista de un billones de cosas, sólo es necesario realizar un millón de operaciones. Por lo general, para buscar a través de n posibilidades, solamente se necesita realizar un número de operaciones físicas igual a la raíz cuadrada de n. Y luego, si dejamos que el decodificador cuántico piense el doble de tiempo, examinará *cuatro* veces más claves; el triple de tiempo, *nueve* veces más, y así sucesivamente. La explicación, si consideramos la existencia de muchos universos, es muy sen-

cilla: es simplemente que hay un número de universos igual a la raíz cuadrada de n que colaboran en la tarea. Pero, una vez más, la pregunta sobre la interpretación como tal no tiene importancia; basta con que pensemos en las repercusiones que esta computación tiene para la realidad en la que nos encontramos para que, de nuevo, la respuesta sea que esa realidad es mucho más grande de lo que parece. Dar con la clave correcta dependía, lógicamente, de buscar todas las demás claves; por lo tanto, por mera lógica, esas otras claves posibles debían de haber existido en algún lugar, y algo debía de haberlas comprobado a fin de ver si eran válidas.

En última instancia, la información tiene que concretarse físicamente; por eso, al final, se traducirá siempre a átomos, estrellas o lo que fuere. Pero debido a la universalidad de la computación, no es necesario pensar en función de ninguna implementación específica: no necesito saber si mi información se va a almacenar en un disco magnético o en cualquier otra cosa; lo único que sé es que mayor información significa un objeto mayor.

Si los ordenadores van a seguir aumentando en potencia, los procesadores y los dispositivos de memoria deben hacerse más pequeños, pues por esa sola razón pueden aprovecharse los procesos cuánticos. El construir o no construir ordenadores cuánticos en realidad no importa. Incluso para hacer ordenadores clásicos con componentes a escala atómica, es necesario usar la física cuántica y, en definitiva, la teoría cuántica de la computación. Una vez se hubiera hecho esto, probablemente esa misma tecnología podría crear ordenadores cuánticos, siendo un claro incentivo las ventajas inherentes que ofrece la computación cuántica.

Varias propuestas tecnológicas para su construcción compiten en estos momentos, y no sabemos en qué desembocará la competición: podrían ser trampas de iones, podrían ser pun-

tos cuánticos, o quizá otros dispositivos en estado sólido; podrían ser bucles superconductores; podrían ser moléculas, o algo aún desconocido.

El mayor ordenador cuántico del mundo en la actualidad tiene alrededor de tres qubits; en la práctica, no es de gran utilidad, y el aparato que se requiere para hacerlo funcionar es enorme. Aun así, con tres qubits es posible implementar algoritmos cuánticos que ningún ordenador clásico que usara tres bits podría imitar.

Existen ya dispositivos criptográficos cuánticos en el laboratorio. Llegará el día en que éstos harán posible una comunicación absolutamente segura. La criptografía dejará de depender de la dificultad, o intratabilidad, de adivinar una clave desconocida, pues será físicamente imposible descubrir la clave si uno no tiene ante sí el objeto físico relevante; esto es lo máximo en criptografía. El problema es que en la actualidad el alcance de la criptografía cuántica está seriamente limitado: no puede hacerse a través del aire, sino sólo a través de cable de fibra óptica, y creo que el récord del mundo está en unos 100 kilómetros. No obstante, esto permitiría conectar la ciudad entera de Londres, o el centro de Washington D. C., de un modo completamente seguro. No sé por qué no se ha hecho todavía, aunque dudo que tenga que ver con siniestras maquinaciones gubernamentales; posiblemente se deba sólo a que hace falta mucho tiempo para que una idea llegue a ser de verdad viable en el sentido comercial. Sabemos ya cómo establecer comunicaciones absolutamente seguras, si así lo queremos, en un radio de unos pocos kilómetros. Alcanzar una extensión más amplia supondría un problema, pero hay al menos un grupo en Los Álamos que trabaja en la construcción de un sistema que permitiría redirigir a través de un satélite mensajes cuánticamente codificados, y eso prácticamente resolvería el problema. A largo plazo, el problema podría

resolverse también mediante estaciones repetidoras cuánticas, aunque desgraciadamente se requeriría una informática cuántica mucho más precisa que para la criptografía que hoy se utiliza. De todos modos, llegarán, quizá dentro de una década o dos.

Lo que también llegará –probablemente más tarde que eso– es el empleo de un ordenador cuántico para descifrar códigos ya existentes, como describía hace un momento. Las máquinas decodificadoras cuánticas harían que los sistemas criptográficos actuales quedaran obsoletos. Me ha sorprendido repetidamente lo bien que los experimentalistas han logrado implementar conceptos teóricos en la computación cuántica. Ahora bien, criptografía aparte, me asombraría que la computación cuántica produjese nada tecnológicamente útil en los próximos diez o veinte años, o incluso más. Pero ya ha habido cosas que me han asombrado.

¿QUÉ VENDRÁ DESPUÉS DE LAS MENTES?

MARVIN MINSKY

Decenas de miles de investigadores que trabajan en el campo de la llamada inteligencia artificial se esfuerzan hoy día por dotar a las máquinas [...] *de capacidades similares a las del ser humano. Han desarrollado programas que superan a las personas en muchos ámbitos especializados: algunas resuelven complicados problemas matemáticos, o pilotan con destreza barcos y aviones; otras son capaces de reconocer voces y rostros, u objetos en una cadena de montaje. Pero ninguna de ellas es todavía capaz de vestirse, o de entender la clase de cosas que un niño pequeño entiende sin dificultad. ¿Por qué ningún ordenador tiene aún lo que llamamos conocimientos cotidianos, de sentido común, o hace el tipo de razonamientos que nosotros consideramos obvios?*

MARVIN MINSKY ocupa la cátedra Toshiba de los Medios de Comunicación y las Ciencias, y es profesor de ingeniería eléctrica y ciencias informáticas en el Instituto Tecnológico de Massachusetts. Sus investigaciones han supuesto avances teóricos y prácticos en matemáticas, informática, física, psicología e inteligencia artificial, y es notable su contribución a los ámbitos de la semántica computacional y la representación del conocimiento, de la percepción y el aprendizaje de las máquinas, y de las teorías sobre la resolución humana de problemas. Minsky es también el inventor del famoso microscopio confocal de barrido láser, que revolucionó nuestra capacidad de ver estructuras microscópicas densas. Es el autor de *The Society of the Mind* [*La sociedad de la mente*].

¿Por qué ha sido tan arduo averiguar cómo funciona la mente? Cuanto más aprendamos sobre cómo funciona la mente, más capacitados estaremos para guiar el desarrollo de nuestros sucesores genéticos o de los seres cuya creación tendremos que supervisar. Pero ¿por qué habríamos de modificar cómo somos en vez de permanecer siempre iguales? La respuesta es que no tenemos alternativa. Si permanecemos inalterables en nuestro estado actual, es poco probable que duremos mucho, ya sea en la escala del tiempo cósmico o humano. Hay muchas probabilidades de que, en los próximos cien o mil años, nos destruyamos a nosotros mismos; sin em-

bargo, nosotros solos somos responsables, no únicamente de la supervivencia de nuestra especie, sino de la continuidad de la inteligencia en este planeta, y muy posiblemente en este universo. Para que podamos desarrollar nuestro futuro potencial, tendremos que proteger el medio ambiente tanto del calentamiento global como de la glaciación. Tendremos que cuidarnos también de no ser extinguidos por otra clase de accidentes, como las colisiones de cometas o asteroides que más de una vez en el pasado acabaron con la mayor parte de las especies. Asimismo somos conscientes de que nuestro sol nos devorará en no más de unos pocos miles de millones de años, y puede que incluso bastante antes. Hemos oído y leído muchas sugerencias sobre cómo hacer frente a todo esto, pero todavía ninguna parece práctica. Un camino más práctico podría ser pensar menos en esas cuestiones y, en su lugar, ¡centrarnos en encontrar la manera de desarrollar más nuestra inteligencia!

La psicología está aún en pañales. Encontramos muchas ideas en la *Retórica* de Aristóteles, escrita hace veintitrés siglos, sobre cómo funciona el pensamiento, y gran parte de ese texto sigue teniendo vigencia hoy día, lo cual generalmente no ocurre en las demás ciencias. Esto apunta a que deberíamos examinar meticulosamente por qué no aparecieron ideas más avanzadas sobre la mente hasta la última mitad del siglo XIX, hasta las investigaciones, por ejemplo, de Wilhelm Wundt, Francis Galton, William James y Sigmund Freud; e incluso entonces, su progreso fue lento. ¿Qué impidió a la psicología avanzar con mayor rapidez? He aquí algunas posibles razones:

- *El modelo del "Yo único"*. Un obstáculo muy importante para el progreso fue el modelo mental del "Yo único": la noción, inherente al sentido común, de que cada uno tene-

mos una identidad única y central con intenciones y metas definitivas. El problema de esta idea es que tiende a impedirnos pensar en lo que son las mentes y en cómo operan. Freud fue uno de los primeros en desafiar este modelo, al proponer una teoría arquitectónica que contempla la mente como una diversidad de sistemas, y el "pensar" como consecuencia de la manera como entran en desacuerdo unos y otros.

- *Ausencia de medios adecuados para describir la información*. Está claro que los procesos mentales trabajan con símbolos cuyo "significado" se refiere, al menos parte del tiempo, a autorreflexiones sobre esos mismos procesos. En el pasado no contábamos con medios para trabajar con sistemas de este tipo o representarlos, y, de hecho, esas técnicas no empezaron a aparecer hasta los albores de la informática.
- *Los sistemas complejos y la envidia de la física*. La mayoría de los psicólogos de los primeros tiempos estaban tan impresionados por los progresos de la física que, en un intento de emular a Maxwell o a Newton, buscaban reducidos conjuntos de leyes para explicar la conducta humana. Esta limitación se ha concretado a menudo bajo el nombre de "la navaja de Occam": nunca se ha de asumir ninguna entidad que no parezca lógicamente necesaria. Sin embargo, aprendimos, incluso de la primera neurología, que nuestros cerebros tienen cientos de mecanismos diferentes, lo cual hace plantearse la búsqueda de teorías con más partes, no con menos.
- *El pensar con sentido común*. La psicología moderna ha avanzado mucho en la comprensión de la percepción humana y las reacciones simples. No obstante, todavía no hemos puesto suficiente ahínco en intentar desvelar los misterios de cómo representamos los conocimientos que

constituyen el sentido común, o cómo utilizamos el conocimiento que tenemos para resolver problemas difíciles.

EL MODELO DEL YO ÚNICO FRENTE AL MODELO FREUDIANO

Imaginemos que un niño quiere el juguete con el que está jugando un niño más pequeño. La solución más obvia es arrebatárselo, pero como nuestros valores culturales lo prohíben, nuestro niño tiene que ver qué hace con esa prohibición. Sin embargo, un conflicto es algo difícil de representar en el modelo del Yo único, pues es difícil imaginar que una sola mente pueda contener diversas ideas antagónicas.

Para abordar este problema, Freud consideró que la mente estaba formada por diversas partes casi separadas entre sí, cada una con su propia maquinaria. En una versión simplificada de su idea –a la que suelo referirme como "el sándwich freudiano"– uno empieza (lo mismo que los demás animales) con apetitos, impulsos, necesidades y compulsiones encarnados en un sistema innato al que Freud llamó el Id. Pero, por otro lado, crecemos en un mundo social del que adquirimos metas añadidas, el tipo de metas a las que a veces llamamos ideales, y que él imaginó encarnadas en un segundo sistema: el Superego. Por último describió el resto de la mente como un surtido enormemente diversificado de esquemas: el repertorio al que llamó el Ego. Él veía este último sistema (que incluye lo que llamamos razonamiento de sentido común), como embutido entre los otros dos, y su trabajo consistiría en encontrar el modo de resolver los conflictos que tan a menudo surgen entre nuestras metas instintivas y nuestros más altos ideales.

También podríamos interpretar la idea de Freud como una sugerencia de que gran parte de la actividad de la mente está

dedicada a lo que hoy día llamamos "depuración" [*debugging*]. Porque nuestra conducta no se basa en leyes estrictas como las de una cabal teoría matemática; nuestras mentes funcionan más como extensas colecciones de software, y cada parte de ellas padece una diversidad de errores. (Éste no es solo el caso del cerebro; es en términos generales lo que resulta de la evolución. En lugar de un conjunto de subsistemas perfectos, los viejos sistemas van quedando anexionados entre sí al añadirse nuevos sistemas, cada uno de los cuales ayuda a corregir antiguos errores y, al hacerlo, crea otros nuevos). En concreto, Freud imaginó que algunas partes de la mente se asemejan a monitores que observan a otras partes y, cuando éstas cometen errores, las primeras saben cómo reprimirlas y enfocar otras.

No tenemos por qué aceptar las teorías de Freud; de hecho, él mismo fue cambiándolas una y otra vez a lo largo de los años. Pero hemos de reconocer la importancia de su enfoque, pues ofreció una alternativa a la noción de que la mente necesita una "persona" o "alma" central. En su lugar, vemos que la mente es una colección de estructuras que pueden, tanto cooperar entre sí, como oponerse unas a otras, para encontrar maneras de tratar con las metas antagónicas. En realidad, la teoría de Freud tenía más de tres partes; incluía también toda clase de críticos, censores y represores mentales, así como múltiples modos de hacer representaciones. El problema era que en aquellos tiempos no existían aún medios idóneos para hacer descripciones precisas de tales cuestiones; eso tendría que esperar a que llegaran otras ideas modernas sobre la representación del conocimiento, así como mejores medios para representar procesos.

Por lo tanto, en vez de buscar leyes uniformes que pudieran explicar todas nuestras funciones mentales, esta noción del "agente múltiple" deja espacio para muchas más clases de recursos, puesto que cada uno de esos sistemas parcialmente

separados puede trabajar en concordancia con diferentes leyes. Por supuesto, esa comprensión sola no basta, ya que necesitamos saber cómo están organizados los sistemas. Las ideas de Freud hubieran debido inspirar a más psicólogos a tratar de resolver el problema, perteneciente a un nivel superior, de describir la arquitectura de las mentes. Los seguidores de Freud lo han intentado en cierta medida, pero sus investigaciones no han tenido grandes consecuencias, porque son ideas que no afectaron mucho a las demás corrientes de la psicología. Sospecho que esto pudo ser debido a lo que describí como envidia de la física; pocos científicos supieron concebir un modo de salvar la distancia entre las simples y populares teorías basadas en reglas definidas y estos nuevos esquemas arquitectónicos elevados, pero vagos. Hace poco pregunté a una clase multitudinaria, en la que la mayoría de los estudiantes habían hecho cursos de "ciencia cognitiva", qué sabían sobre las ideas de Freud, y muy pocos recordaban haber oído siquiera hablar de ellas. En efecto, las ideas de Freud han sido condenadas al ostracismo, quizá porque anteriormente se las ha considerado políticamente incorrectas. Por otro lado, no había ningún modo factible de predecir cómo se comportaría un sistema tan extenso; había que esperar para ello hasta la llegada de los grandes ordenadores.

En cuanto a los modernos programas informáticos, sus diversas partes entran a veces en conflicto, pero los programadores suelen considerar que éste no es un modo de funcionamiento aceptable, y por esto prefieren buscar maneras de hacer que cada programa funcione perfectamente. No digo que sea una mala idea; sólo, que nunca tendrá un éxito rotundo, y por tanto tendremos que crear alternativas. Una razón de que nuestro cerebro de mamífero tenga tantos "centros" diferentes y especializados debe de ser que, al evolucionar nuestros antecesores, sus cerebros tuvieron que desarrollar nuevos meca-

nismos para adaptarse a los nuevos hábitat, mientras que en la mayoría de los animales no hubo una evolución de múltiples y diferentes "maneras de pensar", y por eso, característicamente, una especie puede sobrevivir sólo en un medio ambiente determinado: su habitáculo ecológico. Nuestros cerebros, por el contrario, se convirtieron en una gran amalgama de información, y la psicología tiene aún que reconocer esto con teorías sobre cómo puede el pensamiento funcionar, bien a pesar de ello, o bien encontrando maneras de aprovecharlo.

La mayor parte de los programas informáticos de hoy se parecen todavía a esos animales distintivamente especializados: si uno comete la más ligera equivocación al teclear un comando, el programa dejará de funcionar inmediatamente, mientras que si uno le dice incongruencias a otra persona, lo más probable es que reciba respuestas como: «¡Qué gracia!»; «No le creo», o «Voy a intentar comprender su punto de vista». Cada uno de nosotros tenemos diferentes maneras de tratar con cada situación difícil. Mi tesis en *The Emotion Machine* es que *ningún* esquema uniforme nos permitirá crear máquinas con tantos recursos como tiene el cerebro humano. Es más, estoy convencido de que para conseguirlo se necesitarán muchas "maneras de pensar" distintas, a la vez que cuerpos de conocimiento sobre cómo y cuándo utilizar cada una de ellas.

EL SIGNIFICADO DE LA INFORMÁTICA

A mediados del siglo XX sucedió algo que confío en que terminará por transformar nuestra civilización: la aparición de la informática. La gente en general piensa que la "ciencia computacional" versa sobre las actividades que realiza una computadora; pero esta suposición pasa por alto su verdadera im-

portancia. Yo diría que la informática tiene muy poco que ver con las computadoras, y es, en cambio, un conjunto radicalmente nuevo de maneras de representar (y, por tanto, de considerar) sistemas que son extremadamente complejos.

Por cierto, al utilizar el término "complejo" no me refiero a un sistema que tenga multitud de partes. Lo que nos interesa son los casos especiales en los que esas partes interactúan de modos no uniformes, como ocurre en el cerebro humano, que en su evolución ha desarrollado cientos de partes, cada una con un comportamiento diferente.

A estos sistemas tan poco homogéneos no les gusta someterse al tipo de teorías que tan bien han funcionado en la física y las matemáticas. La disciplina matemática es un conjunto de métodos capaces de tratar con sistemas basados en principios simples, por mucho que sus comportamientos externos puedan parecer de entrada enormemente complejos. Esto último es lo que permite a las matemáticas trabajar a veces con sistemas que tienen una inmensa cantidad de partes, pero eso sí, ¡sólo cuando esas partes interactúan de modos que en su mayor parte se pueden ignorar! Por ejemplo, la mecánica estadística es formidable para explicar algunas propiedades de sistemas muy extensos cuyas partes tienen todas propiedades similares, pero no lo es cuando demasiadas de esas partes difieren entre sí. En el extremo opuesto, las "teorías del caos" pueden a veces ayudarnos a explicar por qué algunos sistemas aparentemente simples pueden generar un comportamiento complejo, cuando las pequeñas diferencias pueden derivar en cambios que se multiplican exponencialmente. Otros métodos matemáticos son en ocasiones capaces de explicar (en principio) cómo algunos sistemas complejos generan un comportamiento simple. Aun así, dichas teorías rara vez nos ayudan a comprender los detalles de sistemas complejos especializados cuyos comportamientos resultan

sernos *útiles*, tales como programas basados en "condicionales" que deben describirse en términos de "si" y "entonces". En esta clase de sistemas, una pequeña diferencia puede causar *instantáneamente* drásticos cambios de comportamiento, ¡como los que ocurren de repente cada vez que tenemos una idea nueva!

La informática, en cambio, pone a nuestra disposición inmensos conjuntos de nuevos conceptos que pueden de verdad ayudarnos a describir los procesos mentales. Por ejemplo, las primeras teorías sobre la memoria sugerían, en su mayor parte, que el conocimiento se almacena a modo de simples conexiones entre datos separados, o de forma aún más simple: como proposiciones guardadas en una caja. La información nos ha ayudado a concebir una gama muchísimo más amplia de maneras de representar los diferentes tipos y formas de conocimiento, tales como:

- elementos de una base de datos,
- conexiones dentro de una red neuronal,
- series de leyes de reacción "si/ entonces",
- estructuras vinculadas que forman redes semánticas,
- guiones de procedimiento con carácter de programa,
- conjuntos interconectados de marcos,
- esquemas de reconocimiento de codificación numérica,
- múltiples niveles de memoria inmediata (caché), etcétera.

Nuestras mentes dependen de grandes redes de diferentes tipos de procesos, y confío en que descubriremos que utilizan muchas representaciones especializadas. Sólo nuevas ideas como éstas sobre cómo se representa la información ponen a nuestro alcance medios adecuadamente especializados para describir tales cosas. Por supuesto, nuestros programadores tuvieron que pagar un alto precio por la comodidad de usar tan

intrincados esquemas; nos privaron de la certeza que resulta de las demostraciones matemáticas exactas. A cambio, sin embargo, obtuvimos el poder utilizar lo que los investigadores del campo de la inteligencia artificial llaman conocimiento heurístico, es decir, conocimiento sobré que procesos ayudarán normalmente a resolver cada tipo particular de problema. El uso de los ordenadores también nos ha permitido simular lo que hacen esos sistemas, lo cual nos proporciona un sustituto (a veces inadecuado) para la demostración matemática.

CAUSAS DE LA RIQUEZA DE RECURSOS HUMANOS

El típico programa informático moderno puede resolver sólo un tipo particular de problema y sólo de una manera particular. En cambio, una persona que se queda atascada al emplear un método puede normalmente reemplazarlo por un enfoque distinto. Es más, cuando uno cambia de técnica, por lo general no necesita volver a empezar el proceso entero desde el principio; lo que hace es cambiar de táctica y de representaciones y seguir desde donde estaba.

¿Cómo podemos cambiar nuestro modo de pensar en las cosas sin que sea necesario empezar desde el principio?

- *Solemos usar representaciones múltiples*. Una respuesta a esa pregunta empezaría diciendo que, cada vez que aprendemos de la experiencia, hacemos generalmente varias representaciones de cada cosa que hemos aprendido. Para ello creamos varios esquemas de memoria distintos, cada uno con un propósito diferente o capaz de ayudarnos con un tipo diferente de problema. Por ejemplo, cuando nos encontramos ante una clase de objeto desconocida podemos

representarla como una red de descripciones visuales, auditivas y táctiles, y con frecuencia vamos aún más allá, pues hay partes de nuestra mente que hacen preguntas como: «¿de quién es ese objeto?»; «¿por qué está ahí?»; «¿cuánto cuesta?» o «¿cómo funciona?». Sospecho que normalmente uno pregunta también: «¿para qué podría usar yo eso?» o «¿cómo podría hacerlo funcionar?». Cada una de estas preguntas pueden llevarnos entonces a almacenar un tipo adicional de descripción del objeto, junto con las apropiadas interconexiones, para que, al formular más tarde diferentes preguntas, podamos cambiar rápidamente de estilo de pensamiento.

- *Las emociones son diferentes maneras de pensar.* Nuestra "psicología popular", basada en el sentido común, tiende a considerar que "pensar" es una actividad relativamente simple, y en cambio nos gusta considerar las "emociones" como extremadamente complejas y misteriosas. Desde ese punto de vista popular, el pensar consiste en poco más que una serie de fríos procesos mecánicos y lógicos sin especial interés. En cambio, las emociones se contemplan como algo completamente distinto, con todos sus impredecibles colores y sentimientos inexplicables. Consideremos una analogía entre el color y la forma de los objetos físicos, y los sentimientos y pensamientos que provocan las ideas. Habitualmente no vemos ningún misterio en la forma física de algo porque podemos describirlo atendiendo a las partes que lo constituyen así como a las relaciones espaciales de éstas. Pero es obvio que nuestra perspectiva de los colores no es la misma; parecen esencialmente distintos de las formas: separados y adicionales. De hecho, hasta tal punto parecen superpuestos y "accesorios" que prácticamente no tenemos nada que decir sobre ellos. (¿*Por qué* parecen los colores tan diferentes de las formas? Sospe-

cho que podría deberse sencillamente a que están relacionados con procesos de nuestros cerebros cuya evolución ha sido más reciente, y tienen por tanto una conexión menos sólida con el resto de nuestros pensamientos.) Sin embargo, el punto de vista que propongo en *The Emotion Machine* es casi el opuesto: las emociones no son una adición a los pensamientos. En lugar de eso, veo cada estado emocional como una manera notablemente distinta de pensar. Diré más aún, en muchos casos no es sólo que un estado emocional no sea resultado de añadir algo al pensamiento, ¡sino que quizá surja al reprimir recursos que habitualmente uno utiliza cuando piensa! Por ejemplo, cuando algo nos pone verdaderamente furiosos, tal vez empecemos a reprimir algunos de nuestros planes a largo plazo, a desconectar algunos mecanismos de defensa, y a limitar el alcance del pensamiento a niveles más superficiales y menos autorreflexivos. En otras palabras, el resultado de ese estado emocional es un estilo de pensamiento que nace en buena medida de haber desconectado algunos de nuestros recursos habitualmente activos.

- *Para pensar, se necesitan vastas recopilaciones de conocimientos.* ¿Qué hace que los seres humanos sean tanto más inteligentes que la mayoría de las restantes especies de animales? Esto es claramente debido a que aprendemos más, tanto más conocimientos sobre cosas concretas como mejores maneras de pensar en ellas. Además, aprendemos todo ello en múltiples niveles: no sólo aprendemos nuevas maneras de pensar, sino también sobre cómo y cuándo utilizarlas.

Sobre lo que aún no hemos aprendido mucho, sin embargo, es sobre cómo hacer que nuestras máquinas aprendan a hacer todo esto. Decenas de miles de investigadores que tra-

bajan en el campo de la llamada inteligencia artificial se esfuerzan hoy día por dotar a las máquinas de capacidades similares a éstas que son propias del ser humano. Han desarrollado programas que superan a las personas en muchos ámbitos especializados: algunas resuelven complicados problemas matemáticos o pilotan con destreza barcos y aviones; otras son capaces de reconocer voces y rostros, u objetos en una cadena de montaje. Pero ninguna de ellas es todavía capaz de vestirse, o de entender la clase de cosas que un niño pequeño entiende sin dificultad. ¿Por qué ningún ordenador tiene aún lo que llamamos conocimientos cotidianos, de sentido común, o hace el tipo de razonamientos que consideramos obvios?

Yo creo que es principalmente porque sólo un puñado de investigadores ha tratado de desarrollar teorías sobre cómo podría hacerse que las máquinas pensaran con sentido común. ¿A qué se dedican entonces los demás miles de investigadores de la inteligencia artificial? Me da la impresión de que hasta ahora han tenido miedo de abordar de frente el problema, y en vez de ello han intentado expandir los métodos tradicionales que alguna vez tuvieron éxito en casos específicos. El resultado ha sido una sucesión de rutilantes modas que, a mi entender, son vanos intentos de resolver los problemas; de todos modos, el pensamiento basado en el sentido común es demasiado complejo para que esos viejos métodos sean suficientemente eficaces.

He aquí algunos de esos otros intentos que han supuesto, cada uno de ellos, un avance en la resolución de ciertos problemas, pero que han fallado a la hora de desarrollar métodos más generales:

- *Modelos estadísticos*. ¿Cómo logramos entender el sentido de una típica frase en la que cada palabra puede tener diversos significados? Comúnmente, aplicamos cierto grado

de noción estadística. Vamos a suponer que leemos: «Juan tomó la pluma». Bien, esa pluma podría ser (a) un instrumento que sirve para escribir, (b) cada una de las piezas que cubre el cuerpo de un ave o (c) el mástil de una grúa. Si no sabemos nada sobre Juan, entonces la opción (a) es más probable que la (b), y ésta, más que la (c). Si supiéramos que Juan es ornitólogo, la opción (b) tendría alguna posibilidad; y si supiéramos que es trabajador de la construcción, podríamos considerar la opción (c), porque la relación parece más directa; pero también habría cierto conflicto, ya que, sin ningún otro detalle aclaratorio sobre esa acción, es obvio que la pluma de una grúa pesa demasiado para que un hombre pueda tomarla en su mano. El empleo de la estadística del lenguaje le lleva a uno más o menos a lo que sería de esperar. Cuanto más ampliamos el cuerpo de la evidencia, mayores son las probabilidades de elegir la opción acertada, pero siempre existe la posibilidad de que, a partir de un límite, no podamos ya distinguir a ciencia cierta los significados porque éstos dependan de contextos a mayor escala; por ejemplo, en referencias a otros textos.

- *Robots con cerebro de mosquito*. Quizá una de las modas que mayor pérdida de tiempo y energía representa es la de construir esos pequeños robots de gran simpleza para uso en el mundo real, posiblemente basada en la idea de que un animal debe "aprender a gatear antes que a andar" (dicho popular que ¡sencillamente no es cierto!). Así, hoy día, en un sinfín de universidades se construyen robots capaces de aprender a abrirse paso en medio de un campo de obstáculos o a ganar a sus competidores en juegos muy simples. Sin embargo, por lo que veo, miles de esos experimentos no han logrado generar ninguna idea nueva y relevante a la que no se hubiera podido llegar mediante un poco de reflexión profunda.

Hemos visto otra serie de enfoques en los últimos años: las redes neuronales, los sistemas expertos basados en reglas, el aprendizaje bayesiano, los modelos de Markoff, la lógica de predicados, las teorías de la complejidad, etcétera. La mayoría de estos esquemas están, más o menos, basados en el concepto de que todo cuanto se necesita es un ordenador suficientemente grande. No voy a examinar aquí esos sistemas, exceptuando la programación genética, que creo que podría ser el más prometedor, si conseguimos subsanar sus deficiencias.

- *Programación genética*. Aquí la idea básica es simplemente simular la evolución darwinista: empezamos a trabajar con un programa concreto, y si no resuelve nuestro problema, le aplicamos una o más mutaciones y comenzamos el experimento otra vez. Generalmente, puede servirnos de ayuda incluir una larga lista de programas y establecer competiciones entre ellos. Resulta una idea tentadora por varias razones, principalmente porque así es como evolucionó el ser humano, luego sabemos que en principio sus resultados pueden ser magníficos. En cualquier caso, la idea es atractiva porque ofrece una forma de resolver problemas que no requiere el esfuerzo de planear y pensar. A muchos profesionales que lo utilizan les gusta definirlo como un enfoque distinto, novedoso, pero yo lo veo más bien como una versión renovada del que emplearon los primeros investigadores del campo de la inteligencia artificial y que abandonaron por su excesiva lentitud. Hoy, utilizando ordenadores que funcionan a una velocidad un millón de veces mayor, los motores de búsqueda actúan con rapidez en algunos tipos de problema; pero también lo haría (y parece que en general los profesionales no se hayan dado cuenta) cualquier otro de los métodos anticuados. Se tiene la esperanza, por supuesto, de que el ampliar

esos programas les permitirá resolver problemas mucho más difíciles, y ésta es también la idea que se ha expandido por todo el mundo, atrayendo el interés de miles de estudiantes y de otra gente. En este momento, sólo quiero señalar brevemente que, aunque la evolución darwinista es "natural", tiene también algunos fallos graves.

- *Nuestros genomas no contienen información sobre metas explícitas.* Primero, en la evolución darwinista no hay lugar para las metas (ni, por tanto, para las submetas). Esto significa que no cuenta con los recursos necesarios para descomponer los problemas en partes y utilizar a continuación métodos de tipo "divide y vencerás". A causa de esta deficiencia, la evolución no puede aprovechar toda una serie de técnicas que de otro modo podrían reducir las dimensiones de una búsqueda exponencialmente creciente. (De hecho, nuestros sistemas biológicos han dado algunos pasos hacia ello, mediante la invención de mecanismos tales como las homeosecuencias y otras refinadas formas de control de la expresión genética.) Si en un primer momento los animales hubieran desarrollado maneras de representar metas, entonces algunos pasos que han tenido que esperar millones de años habrían podido darse en unas pocas generaciones. Nos hicieron falta varios cientos de millones de años para evolucionar desde la levadura que fue nuestro antecesor hasta lo que somos; y quizá un esquema evolutivo más estratificado hubiera podido reducir este periodo en varios órdenes de magnitud.

Quizá nosotros mismos estemos a punto de inventar esquemas de esa clase. Es cierto también que pocos programas representan sus metas, excepto tal vez a modo de comentarios en sus códigos de origen; no obstante, alrededor de 1960, Allen Newell, Clifford Shaw y Herbert Simon desarrollaron un conjunto de programas que sí tenían me-

tas y submetas explícitas, y que resolvieron algunos problemas importantes. Lo llamaron Solucionador General de Problemas. Lamentablemente, pocos programadores de hoy día han oído hablar de él, así que se dedican a reinventarlo una y otra vez, aunque con resultados menos claros y eficientes.

- *Nuestros genomas no conservan un registro de los fracasos*. El segundo punto es que la evolución darwinista selecciona a los animales que sobreviven, ¡pero no tiene medios explícitos para recordar qué causó la muerte de los que no sobrevivieron! Esto significa que sólo es capaz de aprender a tratar con los tipos de errores más comunes. Así pues, sería de esperar que una especie como los ratones desarrollara comportamientos específicos que la ayudaran a protegerse de, digamos, los gatos y las serpientes. Sin embargo, ninguna especie puede tratar, genéticamente, con grandes cantidades de errores no comunes. Podría argumentarse, desde luego, que nuestros genes "recuerdan", pero los genes sólo almacenan los ardides que lograron hacer que las cosas sobrevivieran; no tienen ningún recuerdo en absoluto de por qué esos ardides tuvieron éxito. El hecho concreto es que nuestros genes no tienen forma de recordar grandes cantidades de errores poco comunes, y por consiguiente los animales no pueden heredar conocimientos sobre grandes cantidades de errores. Esto se debe a que un animal tiene solamente unos miles de genes. Ahora bien, un cerebro suficientemente grande puede aprender muchos millones de memes, es decir, sus equivalentes culturales. El desarrollo de la "inteligencia" en un ser humano depende en gran parte del aprendizaje de un extenso cuerpo de errores comunes que se han de evitar, si es que ese ser humano crece inmerso en una cultura que tenga medios efectivos de transmitir tales cosas.

De este modo, cada generación puede transmitir grandes listados de errores terribles que hicieron morir a otras personas. Cada vez que uno comete un grave error, puede intentar acordarse de no repetirlo jamás –y contárselo a sus amigos–, y así, nuestras culturas pueden crecer, porque las nuevas generaciones no necesitan empezar otra vez desde el principio.

ORDENADORES Y SENTIDO COMÚN

Un ordenador actual es un millón de veces más potente que los de hace treinta años, pero los programas y los sistemas que ejecuta no han cambiado mucho, al menos en ciertos aspectos importantes. Esto es así hasta el punto de que en estos momentos está habiendo una regresión a gran escala, de sistemas como Windows, rígidos y difíciles de mantener, a un sistema más simple llamado Unix, diseñado en 1969. Sin embargo, no es ésta la principal razón de que los ordenadores aparentemente no hayan cambiado.

El aspecto que fundamentalmente ha permanecido inalterable es que los ordenadores saben aún poquísimo sobre su mundo; en concreto, no tienen ni idea de los objetivos que persiguen quienes los usan. A esto se debe, por ejemplo, que la mayoría de los programas se colapsen en cuanto sus usuarios cometen un error, ya se trate de un grave error conceptual o simplemente de haber pulsado una tecla equivocada. Llegará el día, sin embargo, en que las computadoras tendrán el tipo de conocimientos de simple sentido común que la mayoría de nosotros tenemos: los millones de conocimientos sobre hechos cotidianos, y maneras de pensar en ellos basadas en el sentido común. Hay ya algunos proyectos que apuntan en esa dirección, pero en vez de revisar el estado primitivo de

nuestros programas, tratemos de imaginar lo que podría suceder si tuvieran éxito. Si aprenden a pensar en sí mismos y a inventar nuevas maneras de perfeccionarse, entonces todo, tal como ahora lo conocemos, cambiará y (si somos capaces de mantenerlos bajo control) nunca tendremos que volver a trabajar.

LA SINGULARIDAD

RAY KURZWEIL

Nos adentramos ahora en una nueva era. Yo la llamo la Singularidad. Es una fusión de la inteligencia humana y la inteligencia de la máquina que va a crear algo mucho más grande de lo que es en sí misma. Representa el punto más avanzado de la evolución en nuestro planeta. Uno tiene razones para afirmar que, de hecho, es el punto más avanzado de la evolución de la inteligencia en general, puesto que no hay indicios de que haya ocurrido en ninguna otra parte. A mi entender, ése es el sentido de la civilización humana: forma parte de nuestro destino, y parte del destino de la evolución, continuar progresando cada vez más rápido e incrementando el poder de la inteligencia de un modo exponencial.

RAY KURZWEIL, inventor y empresario, lleva años transponiendo los límites del marco tecnológico en su campo del reconocimiento de patrones. Fue el artífice del primer reconocedor óptico de caracteres multi-tipo, inventor de la máquina de lectura en voz alta para ciegos, el escáner CCD de sobremesa, el sintetizador informático de voz, el sintetizador musical capaz de recrear el piano de cola y los demás instrumentos de una orquesta, y el primer sistema comercializado de reconocimiento de voz con un amplio vocabulario. En 1999 fue distinguido con la National Medal of Technology por el presidente Clinton, y en 2002 acogido en la Cámara de Inventores Famosos de la Oficina Nacional de Patentes de los EE UU. Es autor de *The Age of Intelligent Machines* [*La era de las máquinas inteligentes*] y *The Age of Spiritual Machines* [*La era de las máquinas espirituales*].

Mi interés por el futuro nace de mi interés por inventar. He albergado la idea de ser inventor desde que tenía cinco años, y pronto me di cuenta de que hacía falta vislumbrar con claridad el futuro para poder tener éxito como inventor. Es un poco como hacer surf: hay que atrapar la ola en el momento oportuno. Para cuando uno termina finalmente de hacer algo, el mundo es un lugar distinto del que era cuando empezó. La mayoría de los investigadores fracasan, no porque sean incapaces de hacer que algo funcione, sino porque las fuerzas de

apoyo del mercado no actúan todas a su favor en el momento preciso.

De modo que me hice estudiante de las nuevas tendencias tecnológicas, y he creado modelos matemáticos de cómo evoluciona la tecnología en diversas áreas, como la informática, la electrónica en general, los dispositivos de almacenamiento para la comunicación, las tecnologías biológicas tales como el rastreo genético, la ingeniería retroactiva del cerebro humano, la miniaturización, las dimensiones de la tecnología y el ritmo de los cambios de paradigma. Este interés en las tecnologías vanguardistas adquirió vida propia, y empecé a proyectar algunas nuevas empleando lo que llamo "ley de rendimiento acelerado", que creo que es el motor de la evolución de la tecnología. En los años ochenta escribí un libro titulado *La era de las máquinas inteligentes*, una especie de mapa de carreteras de lo que serían la década de los noventa y los comienzos del año 2000; y ha resultado bastante acertado. En la actualidad he refinado esos modelos matemáticos y he empezado a examinar a fondo cómo será el siglo XXI. Eso me permite una inventiva que utiliza las tecnologías del siglo XXI, puesto que tengo una concepción de cuáles serán esas tecnologías –así como las comunicaciones, las dimensiones de la tecnología y nuestro conocimiento del cerebro humano– en 2010, 2020 y 2030. Aunque todavía no puedo hacerlas realidad, sí puedo escribir acerca de ellas. La visión del futuro a la que he llegado resulta de estos modelos, que considero válidos tanto por razones teóricas como porque encajan además con los datos empíricos del siglo XX.

Un hecho que los observadores no acaban de reconocer plenamente, y que muchas personas, por lo demás reflexivas, no toman suficientemente en consideración, es que el ritmo del cambio en sí mismo se ha acelerado. Siglos atrás, nadie pensaba que el mundo estuviera cambiando en absoluto. Uno

veía que sus abuelos habían vivido vidas iguales a la suya, y daba por hecho que sus nietos harían lo mismo, esperanza que se cumplía satisfactoriamente. Hoy día es un axioma que la vida está cambiando y que la tecnología está afectando a la naturaleza de la sociedad. Lo que parece no entenderse del todo es que los últimos veinte años no son una guía fiable de lo que serán los próximos veinte. La velocidad de los cambios de paradigma, la velocidad del progreso, se duplica cada década, y el progreso de esos veinte años igualará de hecho el realizado durante todo el siglo XX. La aceleración que se ha producido hasta este momento hará que todo el siglo XX equivalga a veinte años de cambios al ritmo de cambio actual. En los siguientes veinticinco años progresaremos tres veces más que en todo el siglo XX, y el progreso del siglo XXI será equiparable al de 20.000 años, es decir, habrá aproximadamente 1.000 veces más cambios técnicos que los que hemos visto en el siglo XX.

La informática, concretamente, está creciendo a un ritmo exponencial. Pero la única tendencia exponencial que generalmente se tiene en cuenta es la ley de Moore, y ésta es sólo un método para producir un crecimiento exponencial en los ordenadores. Según la ley de Moore, el número de transistores que colocamos en un circuito integrado puede duplicarse cada veinticuatro meses. Al ser más pequeños, son también más rápidos, luego esto supone cuadruplicar la potencia computacional cada doce meses. (La idea tan extendida de los dieciocho meses no es correcta, y no es lo que Moore originariamente observó.)

De lo que no se tiene clara conciencia es de que la ley de Moore no es el primero sino el quinto paradigma que ha supuesto un incremento informático exponencial. Tuvimos calculadoras electromecánicas, computadoras basadas en relés, tubos de vacío y transistores. En cuanto un paradigma perdía

ímpetu, uno nuevo lo reemplazaba. Durante un tiempo, los tubos de vacío se fueron encogiendo cada vez más, hasta que ya no pudieron ser más pequeños y aun así mantener el vacío; entonces aparecieron los transistores, y con ellos una perspectiva totalmente nueva. Se ha debatido mucho sobre si la ley de Moore perderá ímpetu de aquí a doce años, porque para esas fechas los transistores tendrán solamente unos pocos átomos de grosor y no habrá modo de reducirlos más, lo que significa que ese paradigma en concreto perderá ímpetu también.

Entonces pasaremos al sexto paradigma, que es la computación tridimensional paralela a escala masiva. Vivimos en un mundo tridimensional, y nuestros cerebros están organizados en tres dimensiones, luego ¿por qué no computar en tres dimensiones también? Para procesar la información, el cerebro emplea un método electroquímico diez millones de veces más lento que la electrónica, pero esto lo compensa siendo tridimensional. Todas las conexiones interneuronales computan simultáneamente, esto significa que hay 100 billones de procesos desarrollándose al mismo tiempo. Ésa es la dirección que tomaremos. En este momento, los chips, a pesar de su gran densidad, son planos. De aquí a quince o veinte años, los ordenadores trabajarán de forma paralela a niveles masivos y estarán basados en modelos de inspiración biológica, que principalmente podremos crear por haber comprendido cómo funciona el cerebro.

En general, se admite que dispondremos de hardware capaz de recrear la inteligencia humana dentro de muy poco –yo diría, alrededor de veinte años–; lo que resulta más controvertido es si dispondremos del software. Los investigadores reconocen que tendremos ordenadores rapidísimos que teóricamente podrían emular el cerebro humano; pero no sabemos realmente cómo funciona el cerebro, y no tendremos ni el software ni los métodos ni los conocimientos para crear un nivel

humano de inteligencia. Y sin esto, lo único que tenemos es una calculadora extremadamente rápida.

Pero nuestros conocimientos sobre cómo funciona el cerebro están creciendo también exponencialmente. El cerebro no es de una complejidad infinita; es una entidad muy compleja, y no vamos a conseguir una comprensión total a través de un simple avance, por grande que sea, pero llevamos mucho más camino recorrido en la comprensión de los principios operativos del cerebro humano de lo que la mayoría de la gente imagina. La tecnología para la exploración del cerebro está experimentando un crecimiento exponencial; nuestra capacidad para ver realmente los patrones de conexión interna va en aumento, y se están elaborando modelos matemáticos cada vez más detallados de las neuronas biológicas. De hecho, tenemos modelos matemáticos enormemente precisos de varias docenas de regiones de nuestro cerebro y de cómo funcionan, y hemos reproducido sus metodologías utilizando la informática convencional. Los resultados de esos modelos sintéticos, recreados o reimplementados, correspondientes a dichas regiones cerebrales se asemejan mucho al cerebro humano.

También estamos reemplazando secciones del cerebro que han ido degenerándose o han dejado de estar activas a causa de discapacidades o de una enfermedad. Existen implantes neuronales para la enfermedad de Parkinson e implantes de cóclea para la sordera. Está a punto de aparecer una nueva generación de implantes de cóclea que ofrece una resolución de frecuencia de 1.000 puntos y que permitirá a personas sordas oír música por primera vez. El implante de Parkinson reemplaza las neuronas corticales destruidas por esta enfermedad. Así pues, hemos demostrado que es factible entender algunas regiones del cerebro y del sistema nervioso y reimplementar esas regiones mediante la computación de la electrónica convencional que interactúa con el cerebro y ejecuta esas funciones.

Si uno sigue paso a paso estos avances y hace un cálculo matemático, verá que no es nada descabellado imaginar que dentro de treinta años –posiblemente mucho antes– tendremos un mapa completo del cerebro humano, tendremos modelos matemáticos completos de cómo funciona cada región, y seremos capaces de reimplementar los métodos que el cerebro utiliza. Estos métodos son muy distintos de los que emplea la inteligencia artificial contemporánea, pero se asemejan a algunos métodos utilizados en mi campo de investigación, el reconocimiento de patrones, que es la capacidad fundamental de nuestro cerebro (no podemos pensar a velocidad suficiente como para hacer un rápido análisis lógico de una situación dada, así que confiamos en nuestro poder de reconocer patrones). Y de aquí a treinta años seremos capaces de crear inteligencia no biológica comparable a la inteligencia humana.

Del mismo modo justamente que hacemos con un sistema biológico, tendremos que proporcionarle una educación, pero en este caso se pondrán de manifiesto algunas de las ventajas de la inteligencia artificial: una vez que una máquina adquiere destreza en una actividad particular, puede aplicar esas aptitudes con mucha mayor rapidez y precisión que los seres humanos que no se han sometido a optimaciones. Un ordenador de 1.000 dólares es capaz de recordar miles de millones de datos con exactitud, mientras que la mayoría de nosotros nos vemos en apuros para recordar un puñado de números de teléfono. Y una vez que aprenden algo, las máquinas pueden también compartir su conocimiento con otras máquinas. Nosotros no contamos con puertos de descarga rápida en el nivel de nuestros patrones de conexión interneuronal y de concentración de neurotransmisores, así que sencillamente no podemos descargar conocimientos. Yo no puedo tomar mis conocimientos de francés y descargárselos a usted, en cambio las máquinas pueden compartir sus patrones de conocimiento unas con

otras. El proceso de educar a las máquinas puede ser cientos o miles de veces más rápido que el equivalente en los seres humanos; a una máquina con nivel humano la puede proveer de lo que correspondería a veinte años de educación en tal vez unas pocas semanas, o unos pocos días, y luego esas máquinas pueden compartir sus conocimientos.

La principal repercusión de todo esto será que optimará nuestra propia inteligencia humana. Vamos a incorporar estas máquinas a nuestros cerebros. En realidad, ya hemos empezado a hacerlo, en personas aquejadas de graves problemas médicos y discapacidades, pero finalmente es lo que nos sucederá a todos. Sin necesidad de cirugía, seremos capaces de introducir dispositivos de nanoingeniería en la sangre que pasarán a través de los capilares cerebrales. Estos nanobots inteligentes del tamaño de un corpúsculo sanguíneo podrán llegar al cerebro e interactuar con las neuronas biológicas. La factibilidad básica de comunicación en ambas direcciones entre los dispositivos electrónicos y las neuronas biológicas ya ha sido demostrada.

Una sola aplicación que envíe miles de millones de nanobots al cerebro es una plena inmersión en la realidad virtual. Si uno quiere estar en la realidad real, los nanobots permanecen donde están sin hacer nada, pero si quiere entrar en la realidad virtual, los nanobots desconectan las señales procedentes de los sentidos reales y las sustituyen por las que uno recibiría si se hallara en el medio ambiente virtual. Y uno puede entrar en él con otras personas; se pueden vivir toda clase de experiencias, desde encuentros sexuales y sensuales hasta negociaciones mercantiles, durante la plena inmersión en entornos de realidad virtual que incluyen la actividad de todos los sentidos. La gente verterá su propio flujo de experiencias sensoriales y los correlatos neurológicos de sus emociones en la Web y los transmitirá del mismo modo que ahora se transmi-

ten imágenes desde las Webcams situadas en sus salas y dormitorios. Esto le permitirá a uno conectarse y experimentar realmente lo que es ser otra persona, con sus reacciones emocionales incluidas, concepto en el que se basa el argumento de la película *Ser John Malkovich*. En la realidad virtual, uno ya no tiene que seguir siendo la misma persona; puede ser alguien distinto; puede proyectarse a sí mismo como una persona diferente.

Y lo más importante: podremos optimar nuestra inteligencia biológica mediante la inteligencia no biológica a través de conexiones íntimas, lo cual no significa que habrá un estrecho conducto entre el cerebro y el sistema no biológico, sino que existirá realmente inteligencia no biológica en miles de millones de diferentes lugares del cerebro. No sé si a usted le sucede lo mismo, pero hay cantidad de libros que me gustaría leer, sitios Web que me gustaría visitar, y veo que la anchura de mi banda mental restringe las posibilidades reales de hacerlo. Bien, en algún momento, en lugar de tener simplemente 100 billones de conexiones, llegaremos a tener 100 billones de veces un millón, y podremos engrandecer enormemente nuestras capacidades cognitivas de reconocimiento de patrones, pensar más rápido y descargar conocimientos.

Si seguimos estas novedades un poco más lejos, llegamos a un punto en el que el cambio se produce a tal velocidad que parece haber una ruptura en la estructura de la historia humana. Algunos se han referido a esto como la "Singularidad", término tomado de la física, donde se denomina así a un punto de densidad y energía infinitas que es una especie de ruptura de la estructura espaciotemporal. Aquí, por analogía, aplicado a nuestra trayectoria, habla del punto en que el ritmo de progreso tecnológico es tan acelerado que parece provocar una ruptura en la estructura de la historia del ser humano. En física es imposible ver más allá de la singularidad, pues este

acontecimiento crea una barrera; por eso hay quienes sostienen la hipótesis de que es imposible calificar la vida humana a partir de ese punto. Pero mi pregunta es: «¿cómo será la vida humana después de la Singularidad?», que preveo se producirá muy poco antes de la mitad del siglo XXI.

Muchos de los conceptos que tenemos sobre la naturaleza de la vida humana –tales como la longevidad– sugieren que nuestra capacidad como entidades biológicas pensantes es limitada. Todos estos conceptos experimentarán un importante cambio a medida que empecemos a fundirnos en un nivel básico con nuestra tecnología. Me ha llevado algún tiempo poder abrazar mentalmente estas cuestiones. En *La era de las máquinas inteligentes* terminé presentando el espectro de máquinas que igualarán la inteligencia humana entre los años 2020 y 2050, y básicamente no he cambiado de idea respecto a ese marco temporal, aunque sí he abandonado la de que éste sea el espectro final. En el libro que escribí diez años después, *La era de las máquinas espirituales*, empecé a reflexionar sobre cómo sería la vida a partir del momento en que la máquinas puedan competir con nosotros. Ahora intento considerar lo que eso significará para la sociedad humana.

Algo que no deberíamos perder de vista es que la inteligencia biológica innata tiene carácter fijo: en la raza humana total se producen 10^{26} cálculos por segundo (es decir, alrededor de 10.000 millones de cerebros humanos, cada uno con aproximadamente 100.000 millones de neuronas, con una salida en abanico media de 1.000 conexiones por neurona, y cada conexión con una capacidad de 200 cálculos por segundo). De aquí a cincuenta años, la inteligencia biológica de la humanidad continuará en el mismo orden de magnitud. Sin embargo, la inteligencia de las máquinas está creciendo exponencialmente, y hoy es un millón de veces menor que esa cifra biológica. Por lo tanto, aunque la inteligencia humana es todavía domi-

nante, el punto de primera convergencia está situado alrededor de 2030, y la inteligencia no biológica seguirá su incremento exponencial.

Esto hace que algunos se pregunten cómo sabemos si otra especie o entidad es más inteligente que nosotros. ¿No es acaso tautológico el conocimiento? ¿Cómo podemos saber más de lo que sabemos? ¿Quién lo sabría, excepto nosotros?

Una contestación es el no querer que nuestros cerebros experimenten una optimación, el querer que no haya nanobots; muchos afirman que quieren seguir siendo simplemente personas biológicas. Pero ¿qué impresión les causará la Singularidad a quienes quieren seguir siendo biológicos? La respuesta es que en realidad no se darán cuenta de ella; lo único que la humanidad biológica verá en la inteligencia de las máquinas será a una serie de trascendentales sirvientes, de apariencia amistosa, que atienden a todas nuestras necesidades. Pero el proveernos de este servicio, el satisfacer todas las necesidades materiales y emocionales de la humanidad biológica, empleará sólo una pequeñísima fracción de la potencia mental del componente no biológico de nuestra civilización. Así que será mucho lo que a la humanidad biológica le pasará inadvertido.

Son dos los niveles que ahora se han de considerar. En el nivel económico, la potencia mental será el criterio primordial. Estamos llegando ya al momento en que lo único que tiene valor es la información. La información es valiosa hasta el punto de poder reflejar conocimiento, y no sólo meros datos en bruto. Por ejemplo, un reloj, una cámara, una grabadora son objetos físicos, pero su verdadero valor está en la información que intervino en su diseño: el diseño de sus chips y del software utilizado para inventarlos y manufacturarlos. El valor de las materias primas empleadas –un puñado de arena, algunos metales, etcétera– es de unos centavos; los pro-

ductos son valiosos por todo el conocimiento que se utilizó para crearlos. La línea asintótica que sigue el conocimiento como componente de productos y servicios se aproxima al 100%, y para 2030 será del 100%; esto significa que mediante una combinación de nanotecnología e inteligencia artificial seremos capaces de crear prácticamente cualquier producto físico y responder a todas nuestras necesidades materiales. Cuando todo sea software e información, será simplemente cuestión de descargar el software preciso, y estamos ya muy cerca de esto.

En un nivel espiritual, la cuestión de qué es la conciencia me parece también importante. Para el año 2030 habrá entidades aparentemente conscientes y que afirmarán tener sentimientos. Tenemos entidades hoy día –personajes de los videojuegos de nuestros hijos, por ejemplo– que quizá expresen cosas parecidas, pero no resultan muy convincentes; son entidades de software todavía un millón de veces más simples que el cerebro humano. No será éste el caso en el año 2030. Suponga usted que se encuentra con otra persona, en la realidad virtual, que tiene exactamente la apariencia de un ser humano, pero no hay un ser humano biológico detrás de ella: es única y completamente inteligencia artificial que proyecta una figura humana en la realidad virtual, o incluso una imagen humana en la realidad real sirviéndose de una tecnología robótica androide. Esas entidades parecerán seres humanos. Y no serán un millón de veces más simples que los seres humanos; serán igual de complejos que ellos: tendrán todas las sutiles particularidades de la cualidad humana; serán capaces de sentarse y dejarse entrevistar, y resultarán igual de convincentes que un ser humano, igual de complejos, igual de interesantes. Y cuando afirmen estar furiosos o alegres, sonará igual de convincente que cuando un ser humano lo afirma.

Al llegar aquí, nos encontramos ante un profundo problema filosófico. ¿Es esa entidad simplemente una esmerada simulación, suficientemente conseguida como para engañarle a uno, o se trata de una entidad consciente del mismo modo que otras personas lo son? A mi entender, no hay forma de comprobar esto científicamente; no existe una máquina en la que, al introducir a esta entidad, se encienda una luz verde, y que diga: «Vale, esta entidad es consciente», o «Ésta no lo es». Podría construirse una máquina así, pero llevaría incorporada una serie de presunciones filosóficas. Algunos filósofos dirían que, a menos que esa entidad tenga impulsos que salen a propulsión de unos neurotransmisores biológicos, no es consciente, o que no es consciente nada salvo un ser humano biológico que tenga un padre y una madre biológicos. Pero la conciencia pasa a ser una cuestión de debate filosófico; no se puede responder a ella en términos científicos.

La siguiente gran revolución –la que nos afectará desde el primer instante– es la de la tecnología biológica, consecuencia de haber fusionado el conocimiento biológico con el procesamiento de información. Estamos empezando a comprender los procesos de la vida y de la enfermedad gracias a haber empezado a comprender el genoma y cómo se expresa éste en las proteínas. Y lo que nos vamos a encontrar –y es algo que se ha intuido desde el principio– es un terreno sumamente resbaladizo, en el que no hay ninguna definición clara de dónde comienza la vida. En el debate sobre el aborto, ambos lados han tenido miedo de traspasar los márgenes estrictos de una discusión basada en si la vida comienza en el momento de la concepción o en el del nacimiento. No quieren salirse de esos márgenes, porque se dan cuenta de que es un terreno resbaladizo de principio a fin. Pero nosotros vamos a hacerlo más resbaladizo aún: un día podremos crear células madre sin necesidad siquiera de entrar en el huevo fertilizado. Pues

¿qué diferencia hay entre un huevo fertilizado y una célula cutánea, que contiene el genoma completo? Las únicas diferencias son algunas proteínas presentes en el huevo y algunos factores señalizadores que aún no entendemos plenamente, y que son básicamente proteínas (las pequeñas moléculas de ARN desempeñan aquí al parecer un papel importante). Llegará el momento en que podremos tomar una mezcla de varias proteínas –que es un mero puñado de sustancias químicas y, claramente, no un ser humano– y añadirla a una célula de la piel para crear un huevo fertilizado que luego podremos inmediatamente dividir y diferenciar para crear cualquier célula del cuerpo. Cada vez que me frote las manos y me deshaga de miles de células cutáneas, estaré destruyendo miles de potenciales personas. No habrá ninguna frontera obvia entre lo uno y lo otro.

Ésta es otra forma de decir que la ciencia y la tecnología encontrarán la manera de soslayar la controversia. En el futuro podremos realizar clonaciones con fines terapéuticos, una tecnología muy importante que elude completamente el concepto de feto. Podremos tomar células cutáneas y crear –de un modo bastante directo, sin jamás utilizar un feto– todas las células que sean necesarias. Es algo sobre lo que precisamente el pasado año se hicieron avances muy significativos: los científicos lograron transformar células cutáneas en células del sistema inmunológico y del sistema nervioso sin emplear la clonación o células madre embrionarias.

No estamos ya lejos de poder crear células nuevas. Yo, por ejemplo, tengo cuarenta y cuatro años, pero con mi ADN podré crear células de un hombre de veinticinco, y sustituir las células de mi corazón con esas nuevas células sin necesidad de cirugía, enviándolas simplemente a través de la sangre. Se instalarán en el corazón, y así, al principio tendré un corazón en el que habrá un 1% de células jóvenes y un 99% de las an-

tiguas. Pero si sigo haciendo esto cada día, al cabo de un año las células de mi corazón se habrán renovado en un 99%. Con esta clase de terapia, algún día podremos reponer todos los tejidos celulares y los órganos del cuerpo. No es algo que vaya a ocurrir mañana, pero éste es el tipo de revolucionarios procesos que estamos a punto de presenciar.

Si hacemos un estudio de la longevidad humana –otra tendencia exponencial– vemos que a lo largo del siglo XVIII se añaden a la esperanza de vida unos pocos días cada año; durante el siglo XIX, unas pocas semanas, y ahora añadimos cada año más de 100 días debido a estos avances científicos, que van a continuar acelerándose. Muchos investigadores bien informados, incluido yo mismo, creemos que de aquí a diez años habremos empezado a añadir a la esperanza de vida más de un año por año. Así que, a medida que vamos cumpliendo años, la esperanza de vida irá creciendo a un ritmo más rápido de lo que nosotros avanzamos en edad. Si somos capaces de mantenernos vivos, nuestra generación está en el límite mismo. Tenemos que cuidar de nuestra salud al viejo estilo un poco más de tiempo, para no ser la última generación que muera prematuramente. Ahora bien, para cuando nuestros hijos tengan treinta o cuarenta años, estas tecnologías habrán avanzado tanto que la esperanza de vida se habrá alargado muchísimo.

Está también la fundamental cuestión de si los debates éticos detendrán los avances de los que estoy hablando. Es magnífico tener todos estos modelos y tendencias matemáticos, pero la pregunta es: ¿se desbaratarán todos ellos a causa de la gente que, por una u otra razón –mediante la guerra o mediante debates éticos, como la controversia sobre las células madre–, amenaza el desarrollo exponencial que se está llevando a cabo?

Creo firmemente que no será así. Los debates éticos son como piedras dentro de un arroyo. El agua las rodea y sigue

su curso. Aún no se ha visto que estos debates hayan suspendido el progreso de las tecnologías biológicas ni durante una semana. Es posible que, en cierta medida, tengamos que encontrar otras maneras de sortear algunas limitaciones, pero ¡es tanto lo que está en marcha! Hay docenas de ideas apasionantes sobre cómo usar la información genómica y proteómica. Aunque las controversias hagan blanco de alguna idea al azar, es tal el caudal de avances –el concepto mismo de avance tecnológico está tan profundamente arraigado en nuestra sociedad–, que es un enorme imperativo. Estoy de acuerdo en que los peligros existen, pero no es posible detener la progresión acelerada de la tecnología sin caer en la situación de *En un mundo feliz*, donde un gobierno totalitario se sirve de la tecnología para impedir todo desarrollo tecnológico.

El tipo de escenarios que preveo de aquí a veinte o treinta años no será fruto de que exista un laboratorio dedicado a crear inteligencia de nivel humano en una máquina. Esos escenarios irán surgiendo porque son el resultado inevitable de miles de pequeños pasos; y cada uno de ellos es un paso moderado, no radical, y tiene absoluto sentido. Cada paso es simplemente una generación más de productos de alguna compañía. Si tomamos miles de esos pequeños pasos –que se suceden más y más aprisa– lo que nos encontramos son unos cambios portentosos de aquí a diez, veinte, treinta años. A pesar de la fundada preocupación de Bill Joy, antiguo jefe científico de Sun Microsystems, en modo alguno parece que Sun Microsystems considere tan peligrosas todas estas tecnologías como para dejar de crear nuevas redes inteligentes y ordenadores con mayor potencia. Sun no se puede detener. Ninguna compañía puede hacerlo, pues significaría tener que cerrar. Hay un enorme imperativo económico.

Y hay también un tremendo imperativo moral. Todavía son, no millones, sino miles de millones las personas que padecen

enfermedades y pobreza, y tenemos la oportunidad de superar esos problemas mediante los avances tecnológicos. No se les puede decir a los millones de personas enfermas de cáncer que estamos a punto de realizar avances asombrosos que los curarán de su enfermedad pero que vamos a detener todas las investigaciones porque los terroristas podrían utilizar los descubrimientos para crear por medio de la bioingeniería un agente patógeno. La preocupación por esa expropiación potencial es legítima, pero no vamos a parar. Existe en nuestra sociedad una inmensa creencia en los beneficios de un avance económico y tecnológico continuos; no obstante, la sociedad se plantea los peligros de estas tecnologías. Estoy de acuerdo en que debemos poner especial atención en hallar respuesta a esas posibles situaciones de peligro; de hecho, considero que es el reto primordial del siglo XXI.

Otro aspecto de todos estos cambios es que nos obligan a reevaluar nuestro concepto de lo que significa ser humano. Hay una objeción común al avance de la tecnología por sus implicaciones para la humanidad; dice así: «Tendremos ordenadores muy potentes, pero no hemos resuelto el problema del software y, debido a su extrema complejidad, no somos capaces de manejarlo». Mi respuesta a esta objeción es que el software que se requiere para emular la inteligencia humana no está, en realidad, más allá de nuestras posibilidades actuales. Necesitamos usar técnicas nuevas –diferentes métodos de autoorganización– inspiradas en la biología. El cerebro es complicado, pero no inaccesiblemente complicado. No debemos perder de vista que está caracterizado por un genoma con sólo 23 millones de bytes. El genoma tiene 6.000 millones de bits, lo cual equivale a 800 millones de bytes, pero las redundancias son masivas. Una larga secuencia denominada ALU está repetida 300.000 veces. Si se aplica al genoma la compresión convencional de datos, se obtienen alrededor de 23 millones

de bytes (una pequeña fracción del tamaño de Microsoft Word), un nivel de complejidad que podemos manejar. Pero aún no hemos conseguido revertir esta información, es decir, todavía no comprendemos los principios de funcionamiento del cerebro humano.

Uno tal vez se pregunte cómo es posible que algo con 23 millones de bytes sea capaz de crear un cerebro humano que es un millón de veces más complicado de lo que es ello mismo. No es difícil de entender. El genoma crea un proceso de cableado de una región del cerebro de carácter enormemente aleatorio. Luego, cuando el feto se convierte en un bebé e interactúa con un mundo muy complicado, tiene lugar en el cerebro un proceso evolutivo en el que muchas de las conexiones mueren, otras se reavivan, y el cerebro se autoorganiza para poder representar de forma significativa conocimientos y habilidades. Es un sistema muy sutil, y todavía no lo comprendemos; pero lo haremos, porque su nivel de complejidad no está más allá nuestra capacidad de creación.

A mi entender, hay algo especial en el ser humano, algo diferente de lo que vemos en cualquiera de los demás animales. Por una casualidad evolutiva, nosotros fuimos la primera especie capaz de crear tecnología. En realidad, hubo otras, pero nosotros somos la única que sobrevivió en este habitáculo ecológico. En nosotros se combinan una facultad de razonamiento, la capacidad de pensar con lógica, de crear abstracciones, de crear modelos del mundo en nuestras mentes, y de manipular el mundo, y tenemos además pulgares oponibles que nos permiten materializar esa tecnología; pero la tecnología no consiste simplemente en la creación de herramientas. También otros animales han utilizado herramientas primitivas. La diferencia es un cuerpo de conocimiento que cambia y evoluciona de generación en generación; el conocimiento que tiene la especie humana es otra de esas corrientes de desarrollo exponencial.

Empleamos una etapa tecnológica para crear la etapa siguiente, y por eso se acelera la tecnología, por eso crece su potencia. Hoy día, por ejemplo, un diseñador informático tiene a su alcance unas herramientas de diseño de sistemas de computación muy potentes, de modo que en un par de días puede crear, con gran facilidad y rapidez, un ordenador con un sistema muy complejo. Los primeros diseñadores informáticos tenían que empezar por dibujarlo todo sobre papel. Cada generación de herramientas crea el poder de crear la siguiente generación.

Así pues, la tecnología misma es un proceso evolutivo exponencial, una continuación de la evolución biológica que antes creó a la humanidad, evolución que tuvo un desarrollo exponencial a su vez. Cada etapa produjo herramientas más poderosas para la siguiente, y cuando creó el ADN, la evolución biológica tuvo a partir de ese momento los medios para conservar la memoria de sus experimentos a fin de desarrollarse con mayor celeridad. Gracias a esto, la explosión cámbrica duró sólo unas pocas decenas de millones de años, mientras que la primera etapa, en la que se crearon el ADN y las células primitivas, duró varias decenas de millones de siglos. Finalmente, la evolución biológica creó una especie con facultades racionales y capaz de manipular su medio ambiente, y ahora la vanguardia de la evolución ha pasado, de ser una evolución biológica, a convertirse en algo desarrollado por una de sus propias creaciones, el *Homo sapiens*, y que está representado por la tecnología. En la próxima época, esta especie que abrió camino a su propio proceso evolutivo –es decir, a su propia evolución cultural y tecnológica como ninguna otra especie lo ha hecho– se combinará con su propia creación: se fusionará con su tecnología. En cierto nivel, ya ha empezado a ocurrir; pese a que la mayor parte de nosotros aún no llevemos dispositivos tecnológicos dentro del cuerpo y del cerebro, tenemos con la tecnología una relación íntima. La llevamos en los bolsillos.

LA MITAD DE UN MANIFIESTO

JARON LANIER

Nos gusta imaginar sistemas cibernéticos "puros", pero las pruebas demuestran que sólo sabemos crear sistemas bastante disfuncionales. Nos engañamos al pensar que entendemos algo, incluso un ordenador, por el mero hecho de que somos capaces de modelarlo o digitalizarlo.

JARON LANIER, informático y compositor, es jefe de investigaciones de la iniciativa National Tele-Immersion, coalición de universidades enfocada en el estudio de aplicaciones avanzadas para Internet 2. Lanier, más conocido por su labor en el campo de la realidad virtual –término que él acuñó–, ha sido el primero en hacer posible la entrada a mundos virtuales multipersonales mediante el uso de un casco visor (HMD, *Head-mounted display*). Ha colaborado también en el desarrollo de las primeras implementaciones de realidad virtual en simulaciones quirúrgicas, creación de prototipos para el diseño de vehículos y otras aplicaciones. Como músico, compone obras orquestales, es un virtuoso de una larga serie de instrumentos de todo el mundo, y ha tocado junto a personajes tan diversos como Philip Glass y George Clinton.

Durante los últimos veinte años me he encontrado en el interior de una revolución pero en el exterior de su resplandeciente dogma. Ahora que la revolución no sólo ha alcanzado a la corriente mayoritaria sino que la ha sometido –al hacerse con las riendas de su economía–, probablemente ha llegado la hora de que exprese en voz más alta que nunca mi desacuerdo.

El dogma que rechazo está compuesto de una serie de creencias engranadas y no hay un nombre comúnmente aceptado que lo encabece, aunque yo a veces lo llamo "totalismo cibernético". Tiene el potencial de transformar la experiencia

humana con más fuerza que ninguna ideología, religión o sistema político anteriores, en parte porque a la mente puede resultarle muy agradable (al menos al principio), pero sobre todo porque es un parásito de poderosas tecnologías creadas por personas que, en gran medida, son verdaderos creyentes.

El uso originario del término "cibernética", como lo empleó Norbert Wiener, de ningún modo estaba restringido a los ordenadores digitales. Originariamente era una metáfora dirigida a establecer un paralelismo entre la navegación marítima y el dispositivo de respuesta que rige un sistema mecánico, tal como un termostato. Sin duda, Wiener reconoció y exploró con sentido humanitario el extraordinario alcance de esta metáfora, una de las metáforas con más fuerza jamás expresadas. Espero que nadie crea que estoy equiparando la cibernética con lo que he llamado totalismo cibernético; la diferencia entre reconocer una gran metáfora y tratarla como la metáfora única es la misma diferencia que hay entre la ciencia humilde y la religión dogmática.

He aquí una enumeración parcial de las creencias que componen el totalismo cibernético:

1. Que los patrones de información cibernéticos ofrecen la forma última y mejor de comprender la realidad.
2. Que las personas no son más que patrones cibernéticos.
3. Que la experiencia subjetiva, bien no existe, o bien carece de importancia, puesto que es simplemente un efecto ambiental o periférico.
4. Que lo que Darwin describió en biología, o algo similar a ello, es de hecho también la descripción singular y superior de toda creatividad y cultura.
5. Que los aspectos tanto cualitativos como cuantitativos de los sistemas de información se acelerarán debido a la ley de Moore.

Y finalmente, el más dramático:

6. Que la biología y la física se fusionarán con la informática, dando lugar a la biotecnología y nanotecnología, resultado de lo cual será el nuevo carácter mercúrico de la vida y del universo físico (y poder llegar a la supuesta naturaleza del software informático). Y lo que es más, ¡todo esto ocurrirá muy pronto! Dado que los ordenadores mejoran con tal rapidez, arrollarán todos los demás procesos cibernéticos (así como a las personas) y cambiarán fundamentalmente la naturaleza de lo que sucede en la comunidad de la Tierra tal como la conocemos. Ocurrirá en el momento en que se alcance una nueva "criticalidad", quizá alrededor del año 2020. Ser humano después de ese momento será, o imposible, o algo muy distinto de lo que ahora podamos imaginar.

Durante los últimos veinte años, un torrente de libros ha informado al gran público sobre la estructura de creencias del círculo de entendidos, la elite digital, cautelosamente al principio –con *Gödel, Escher, Bach* de Douglas Hofstadter, por ejemplo– y con crudeza ya en aportaciones recientes, tales como *La era de las máquinas espirituales* de Ray Kurzweil.

Ahora por fin se ha conseguido dirigir la atención del público hacia el sexto apartado de la lista: la asombrosa creencia en el cataclismo escatológico del que seremos testigos cuando los ordenadores se conviertan en los ultrainteligentes amos de la materia física y de la vida. Puedo decir que muchos de mis amigos y colegas creen en una u otra versión de esta catástrofe inminente, pero tengo curiosidad por saber quiénes de entre los pensadores célebres que aceptan alguna versión de los cinco primeros puntos abrazan también el sexto, la escatología. Me parece que, en general, han sido los tecnócratas y

no los científicos quienes han insistido en difundir la perspectiva de una posible criticalidad a corto plazo. No tengo ni idea de qué piensan al respecto figuras como el biólogo de la evolución Richard Dawkins o el filósofo Daniel Dennett; por alguna razón, no puedo imaginar que estos elegantes teóricos se dediquen a especular sobre si los nanorobots dominarán el planeta en un plazo de veinte años. No lo considero digno de ellos. Sin embargo, las escatologías de Kurzweil, Hans Moravec y Eric Drexler tienen su origen directo, y se diría que inevitable, en una comprensión del mundo que con tal claridad han expresado precisamente Dawkins y Dennett. ¿Ven Dawkins, Dennett y otros en su campo algún error de lógica que aísla su pensamiento de esas implicaciones escatológicas? El principal candidato a error es, a mi entender, el hecho de que los ciber-armagedonistas hayan confundido los ordenadores ideales con los reales, cuyo comportamiento es diferente. Mi punto de vista sobre este apartado puede evaluarse al margen de las posturas abiertamente provocativas que tengo respecto a los cinco anteriores, y espero que así se haga.

¿Por qué es esto "La mitad de un manifiesto"? Espero que los lectores no piensen que me he sumido en una especie de pesaroso rechazo de la tecnología digital. De hecho, me entusiasma más que nunca trabajar en la informática, y creo que es bastante sencillo adoptar un marco humanista para el diseño de herramientas digitales. Hay ya en estos momentos un magnífico florecimiento global de la cultura informática, independiente en su mayor parte de las elites tecnológicas, que implícitamente rechaza las ideas que aquí ataco. Un manifiesto completo intentaría describir y promover esta cultura positiva.

Examinaré ahora las cinco creencias que deben preceder a la aceptación de la nueva escatología, y después hablaré de la escatología en sí:

- *Creencia n.° 1 del totalismo cibernético: que los patrones cibernéticos de información ofrecen la forma última y mejor de comprender la realidad.* Un innegable sentimiento de entusiasmo recorre a quien percibe por primera vez un fenómeno cibernético. Si bien creo poder imaginar, por ejemplo, lo excitante que debió de ser utilizar los primeros instrumentos fotográficos en el siglo XIX, no creo que nadie pueda comprender desde fuera lo que significó estar en contacto con la primera tecnología de computación gráfica en los años setenta, pues nos hallábamos esta vez, no sólo ante un medio de hacer y mostrar imágenes, sino ante un metaarmazón que subsumía todas las imágenes posibles. Una vez que la comprensión que uno tenía de algo le permitía introducirlo en el ordenador, uno había descifrado su código, había trascendido cualquier particularidad que pudiera tener en un momento dado. Fue como si nos hubiéramos convertido en los dioses de la visión y hubiéramos creado de hecho todas las imágenes posibles, pues éstas no serían más que reorganizaciones de los bits contenidos en los ordenadores que teníamos ante nosotros, totalmente bajo nuestro control.

El impulso cibernético está inicialmente dirigido por el ego (aunque, como ya veremos, al final de la partida, momento que aún no ha llegado, se convertirá en enemigo del ego). Por ejemplo, los totalistas cibernéticos ven la cultura como la actividad de los "memes" (tropos mentales autónomos que compiten, de un modo semejante a los virus, por un espacio en el cerebro humano). Al hacerlo, los totalistas cibernéticos no sólo consiguen un triunfo y, en su imperialismo académico, se otorgan a sí mismos una imaginaria posición de superioridad de entendimiento frente al resto de las humanidades, sino que de esta manera eluden tener que prestar demasiada atención a

las particularidades de la cultura en un lugar y momento dados. Una vez subsumido algo a su reducción cibernética, cúalquier reorganización en particular de sus bits parece tener escasa importancia.

La creencia n.º 1 siguió casi de inmediato a la aparición de los primeros ordenadores. Fue formulada por los primeros científicos informáticos, Wiener, Shannon y Turing. Es tan fundamental que en el círculo interno ya ni siquiera se menciona; está tan firmemente arraigada que me resulta difícil apartarme de mi amplísimo entorno intelectual el tiempo suficiente para enunciar una alternativa. Pero una alternativa podría ser ésta: no se puede favorecer un único modelo cibernético de un fenómeno, puesto que ni siquiera somos capaces de crear ordenadores que se amolden a dichos modelos. Los ordenadores reales son totalmente distintos de los ordenadores ideales de la teoría. Se averían por razones que no siempre se pueden analizar, y parecen resistirse intrínsecamente a muchos de nuestros esfuerzos por mejorarlos, debido en gran parte a su legado y su bloqueo, entre otros problemas. Nos gusta imaginar sistemas cibernéticos "puros", pero las pruebas demuestran que sólo sabemos crear sistemas bastante disfuncionales. Nos engañamos al pensar que entendemos algo, incluso un ordenador, por el mero hecho de que somos capaces de modelarlo o digitalizarlo.

Hay también un problema epistemológico que me preocupa, a pesar de que mis colegas generalmente se empeñan en ignorarlo. No creo que se pueda medir la función, ni tan siquiera la existencia, de un ordenador sin tener en cuenta su contexto cultural. No creo que los marcianos necesariamente supieran distinguir un Macintosh de un calefactor espacial.

La discrepancia que hasta ahora he mencionado pretende en definitiva atacar esa combinación de argumentos técnicos sobre la teoría informática y posiciones filosóficas que en bue-

na parte emanan del gusto y de la fe. Por eso intento reforzar mi postura con consideraciones pragmáticas, y algunas de ellas empezarán a aparecer en mis pensamientos sobre...

- *Creencia n.° 2: que las personas no son más que patrones cibernéticos.* Toda fantasía del totalismo cibernético se basa en la inteligencia artificial. Quizá no resulte inmediatamente obvio por qué son esenciales esas fantasías para aquellos que las tienen. Si los ordenadores van a llegar a ser lo bastante inteligentes como para diseñar a sus propios sucesores, iniciando un proceso que desembocará en una omnisciencia divina al cabo de una serie de transiciones cada vez más veloces entre una generación y la siguiente, alguien va a tener que crear el software que ponga el proceso en marcha; y los seres humanos no han dado la menor prueba de ser capaces de crearlo. Por lo tanto, la idea es que, no se sabe bien cómo, los ordenadores se volverán inteligentes por sí mismos y crearán su propio software.

Mi principal objeción a esta forma de pensar es de carácter pragmático: el resultado de esa idea es que el software que se hace para el mundo real en este momento es de baja calidad. Los totalistas cibernéticos tienen la cabeza puesta en el futuro, y están dispuestos a consentir fallos obvios en el software actual por favorecer un mundo de fantasía que tal vez nunca llegue.

La empresa de la inteligencia artificial en su totalidad se basa en un error intelectual y continúa produciendo, sin reparar en gastos, software mal diseñado que lanza al mercado una y otra vez, con un nombre nuevo para cada nueva generación de programadores. La última vez se le ha llamado "agentes inteligentes"; la anterior, "sistemas expertos".

Empecemos por el principio, por el momento en que la idea apareció. En la famosa prueba de Turing, se pide a un juez

humano que decida, entre dos corresponsales, cuál de ellos es un ser humano y cuál una máquina. Si el juez no es capaz de distinguirlos, Turing afirma con rotundidad que debería entonces considerarse que el ordenador ha alcanzado esencialmente el estatus moral e intelectual de una persona. El error de Turing fue suponer que la única explicación del éxito de la computadora participante fuera que su nivel se había elevado de algún modo, haciéndose así más inteligente, más humana. Hay, sin embargo, otro argumento igualmente válido para explicar el triunfo del ordenador, y es que la persona se hubiera vuelto menos humana, y por tanto menos inteligente. Cada año se celebra una prueba de Turing oficial, y si bien es cierto que el sustancial premio en metálico no ha sido adjudicado aún a ningún programa, alguno lo ganará sin duda en los próximos años. Desde mi punto de vista, este acontecimiento está distrayendo a todo el mundo de las verdaderas pruebas de Turing que desde hace tiempo muestran quién es el ganador: aunque en miniatura, una versión real de este experimento tiene lugar cada día, a cada momento, cada vez que una persona se resigna a someterse a un estúpido software informático.

En los Estados Unidos, por ejemplo, organizamos nuestras vidas financieras para dar una buena imagen a los programas informáticos patéticamente simplistas que determinan nuestro grado de solvencia estimado; así, solicitamos préstamos que no necesitamos, por ejemplo, para poder introducir cierto tipo de datos en programas que, sabemos, están diseñados para actuar a nuestro favor de cara a los primeros. Al actuar de este modo, nos volvemos necios y hacemos que el software informático parezca inteligente. De hecho, seguimos confiando en el software que determina el grado de solvencia estimado incluso después de que se haya producido una epidemia de bancarrotas privadas en una época de muy bajo índice de desempleo y gran prosperidad. Hemos hecho que la prueba

de Turing se supere con éxito. No hay ninguna diferencia epistemológica entre la inteligencia artificial y la aceptación de un software informático mal diseñado.

Mi argumento se puede entender como un ataque a la creencia de que algún día existirán ordenadores sensibles, pero una lectura más sutil sería que defiende la ventaja práctica de estar en contra de la creencia en la inteligencia artificial, puesto que quienes creen en la inteligencia artificial están más dispuestos a aceptar un software de baja calidad. Y lo que es más importante, espero que el lector sepa ver que la inteligencia artificial puede considerarse más un sistema de creencias que una tecnología.

- *Creencia n.° 3: que la experiencia subjetiva, bien no existe, o bien carece de importancia, puesto que es simplemente un efecto ambiental o periférico.* Ha empezado a definirse una nueva lucha moral motivada por la cuestión de cuándo debería atribuirse un "alma" a los patrones que percibimos en el mundo. Los ordenadores, los genes y la economía son algunas de las entidades que los totalistas cibernéticos consideran que hoy día habitan la realidad junto con los seres humanos. No hay duda de que en nuestras vidas nos encontramos a diario cara a cara con actores no humanos y metahumanos que, además, en ocasiones son aparentemente más poderosos que nosotros. Luego la nueva cuestión moral es: ¿hemos de tomar decisiones teniendo en cuenta sólo las necesidades y deseos de los seres biológicamente humanos "tradicionales", o acaso alguno de estos nuevos participantes merece consideración?

Propongo que nos sirvamos de una sencilla imagen para considerar los puntos de vista alternativos. Es la de un círculo imaginario que cada persona traza alrededor de sí, y al que

llamaremos "el círculo de empatía". En el interior del círculo están aquellas cosas que uno siente que merecen empatía, y el respeto, los derechos y el tratamiento efectivo que corresponde a lo que se ve aproximadamente como un igual. Fuera del círculo están aquellas cosas que uno considera menos importantes, menos vivas, menos merecedoras de derechos. (Esta imagen es sólo una herramienta para el pensamiento, y en absoluto debería tomarse como mi modelo completo para la psicología o los dilemas morales del ser humano.) A grandes rasgos, los liberales anhelan expandir el círculo, mientras que los conservadores desean contraerlo.

¿Deberían los ordenadores, quizá en algún momento del futuro, ocupar un lugar dentro del círculo de empatía? La idea de que así debería ser es la que con ardor defienden los totalistas cibernéticos, que constituyen la elite de las academias tecnológicas y de las empresas de la "nueva economía".

Con frecuencia, hay un tierno aunque no deliberado humor en los polémicos artículos de quienes defienden la idea de que en un futuro los ordenadores estarán dotados de sensibilidad. El empeño en probar racionalmente la posibilidad de que los ordenadores (o quizá incluso Internet) sean capaces de sentir es la versión moderna de intentar probar la existencia de Dios. Al igual que ocurrió con la historia de Dios, gran cantidad de mentes sublimes han derrochado incalculable energía en este empeño, y finalmente aparecerá una versión siglo XXI de Kant con enfoque cibernético que presentará tediosas "pruebas" de la inutilidad de semejante empresa. Yo no tengo la paciencia para ser esa persona. De hecho, lo que ha ocurrido en los últimos cinco años más o menos es que los debates sobre la capacidad de sentir de los ordenadores han empezado a decrecer. La mayoría de mis colegas han asumido la idea como una verdad; para ellos, la discusión ha terminado. Para mí no.

Debo decir que tiempo atrás, cuando el debate estaba candente, resultaba de lo más extraño discutir con alguien como el totalista cibernético Daniel Dennett, quien sostenía que los seres humanos eran simplemente ordenadores especializados, y que establecer una distinción ontológica fundamental entre los seres humanos y los ordenadores era puro sentimentalismo y una pérdida de tiempo. «Pero ¿no sientes tu vida? —le preguntaba yo—. ¿No tienen las experiencias una cualidad muy diferente de la que se puede medir en un ordenador?» La respuesta típica de mi oponente era entonces algo así como: «La experiencia no es más que una ilusión, creada porque una parte de una máquina [tú] necesita construir un modelo de la función del resto de la máquina, y esa parte es tu centro de experiencias». Yo contestaba que la experiencia es lo único que la ilusión no puede reducir, puesto que incluso la ilusión misma es experiencia; y la experiencia, está claro, es precisamente algo que sólo puede experimentarse. Esto me colocaba en la peculiar situación de tener que preguntarme públicamente si algunos de mis oponentes carecían quizá de experiencia interior. (Una vez comenté que, de entre toda la humanidad, uno sólo podía probar a ciencia cierta la falta de experiencia interior de algunos filósofos profesionales.) La verdad, creo que mis opositores sempiternos tienen de hecho una experiencia interior, pero se niegan a admitirla en público por razones varias, muy a menudo porque disfrutan haciendo enfadar a la gente.

Otra motivación podría ser el "imperialismo académico" mencionado anteriormente. Encontramos a representantes de cada una de las disciplinas académicas que de vez en cuando afirman tener un privilegiado punto de vista que subsume los puntos de vista de sus rivales. Los físicos fueron los académicos alfa durante gran parte del siglo XX, aunque los pensadores humanistas "posmodernos" han conseguido en las últimas décadas hacer una especie de reaparición, al menos en sus pro-

pias mentes. Pero los tecnólogos son inevitablemente quienes ganan la partida, puesto que se adueñan de los componentes mismos de nuestras vidas. A muchos, al parecer, les resulta tentador fanfarronear de este poder sugiriendo que también están en posesión de una comprensión suprema de la realidad, lo cual es algo bastante distinto de tener una influencia sobre ella.

La tercera motivación podría ser de carácter neo-freudiano, teniendo en cuenta que el principal defensor de la sensibilidad potencial de la máquina, Alan Turing, era un ser atormentado. Aparentemente se suicidó, turbado por los pechos que había desarrollado tras someterse a un tratamiento hormonal con el que intentaba revertir su homosexualidad. Fue durante este trágico período final de su vida cuando defendió acaloradamente la sensibilidad potencial de las máquinas, y a veces me he preguntado si no sería quizá una forma enormemente original de escape psicólogo y negación: huir de la sexualidad y de la mortalidad convirtiéndose en máquina.

En cualquier caso, lo que es peculiar y revelador es que mis amigos totalistas cibernéticos confundan la viabilidad de una perspectiva con la triunfante superioridad de ésta. Es totalmente cierto que uno puede considerar que una persona es la manera que tiene un gen de propagarse a sí mismo, como explica Dawkins, o el órgano sexual que utilizan las máquinas para hacer más máquinas, como explica Marshall McLuhan (citado en el encabezamiento de cada número de la revista *Wired*), y, en fin, puede ser hasta bonito contemplar el mundo desde estas perspectivas de vez en cuando. Ahora bien, como el antropólogo Steve Barnett ha señalado, sería igual de razonable a afirmar que «una persona es la manera que tiene la mierda de hacer más mierda».

Por lo tanto, vamos a pretender que el nuevo Kant ya ha aparecido y que este hombre o mujer ha hecho su inevitable

trabajo. Podemos decir entonces que la colocación del propio círculo de empatía es en última instancia una cuestión de fe. Debemos aceptar el hecho de que nos vemos obligados a situar el círculo en alguna parte, y todavía no podemos excluir la fe extrarracional de entre nuestras opciones para situarlo. Mi elección particular es no colocar los ordenadores dentro del círculo. En este artículo expreso algunas de las razones pragmáticas, estéticas y políticas en las que se basa esta elección, aunque en definitiva es una decisión basada en mi fe particular.

- *Creencia n.° 4: que lo que Darwin describió en biología, o algo similar a ello, de hecho es también la descripción singular y superior de toda creatividad y cultura.* Los totalistas cibernéticos están obsesionados con Darwin, ya que él escribió lo más cercano que tenemos a un algoritmo para la creatividad. Darwin responde a lo que de otro modo sería un gran agujero en el Dogma: cómo podrían los sistemas cibernéticos ser lo bastante inteligentes y creativos como para inventar un mundo posthumano. A fin de acoger una escatología en la que los ordenadores se vuelven inteligentes a medida que su velocidad aumenta, se ha de invocar a algún *deus ex machina*; y este dios tiene barba.

Desgraciadamente, en la actual situación debo tomarme un momento para aclarar que no soy un creacionista. Estoy criticando en este artículo lo que considero simple pereza intelectual: retraerse y, en lugar de intentar comprender los problemas, poner las esperanzas en un software que evolucione por sí mismo, pero *no* estoy tratando de sugerir que la naturaleza requiera algún elemento ajeno a la evolución natural para crear al ser humano. Por otro lado, tampoco quiero dar a entender que exista un bloque sólidamente unificado de gente que se opone a mí, de personas que piensan todas exactamente lo

mismo. Existen, de hecho, numerosas variantes de la escatología darwinista. Algunas de las disquisiciones más espectaculares provienen, no de científicos o ingenieros, sino de escritores como Kevin Kelly y Robert Wright, que se han quedado extasiados con sus interpretaciones amplificadas de Darwin. En sus obras, la realidad se percibe como un extenso programa informático que ejecuta el algoritmo darwiniano, dirigido tal vez hacia alguna clase de Destino.

Muchos de mis colegas de especialidad ven también, aunque sea vagamente, una flecha causal en la evolución que apunta, a medida que pasa el tiempo, a un grado cada vez mayor de algo difícil de caracterizar. Las palabras empleadas para describir ese algo son asimismo difíciles de definir; se dice que ese algo incluye una creciente complejidad, organización y representación. Para el científico informático Danny Hillis, las personas parecen tener más de ese algo que, por ejemplo, los organismos unicelulares, luego es natural imaginar que tal vez un día habrá nuevas criaturas que lo posean aún en mayor cantidad que las personas actuales. (Y, por supuesto, el futuro nacimiento de la nueva especie con "más aún" se considera por lo general que tendrá relación con los ordenadores). Podemos contrastar esta perspectiva con la de Stephen Jay Gould, que exponía en *Full House* cómo, si en la evolución hay una flecha, es hacia una mayor diversidad con el paso del tiempo, y cómo nosotros, insólitas criaturas llamadas seres humanos, surgidas como una diminuta manifestación de una masiva exploración a ciegas de posibles criaturas, simplemente imaginamos que el proceso entero fue diseñado para concluir en nosotros.

No hay nada más difícil de verificar que una idea antrópica, o su refutación. Admito que tiendo a situarme del lado de Gould en este caso, pero lo más importante es señalar una adivinanza epistemológica que deberían considerar los adep-

tos a la escatología darwinista. Si la humanidad es la medida de la evolución hasta el momento, entonces también seremos la medida que emplearán las especies que nos sucedan y que, según se afirma, serán "más evolucionadas" que nosotros. Tendremos que antropomorfizar esta forma de vida "superior a la humana" a fin de poder percibirla, sobre todo si habita dentro de un espacio de información tal como Internet.

En otras palabras, seremos igual de fiables al evaluar el estatus de los nuevos superseres que al evaluar en el presente las características de los perros de compañía: no estamos a la altura de semejante tarea. Antes de que me contesten ustedes que el asunto será de una obviedad cristalina cuando las nuevas ciberespecies superinteligentes aparezcan, visiten una exposición canina. O una reunión de personas que aseguran haber sido abducidas por alienígenas llegados en un OVNI. La gente pierde palmariamente la cordura cuando se trata de evaluar la sensibilidad no humana.

Es indudable, sin embargo, que la nueva tendencia dirigida a interpretar a Darwin desde una perspectiva más amplia, y concretamente de introducir sus ideas en el campo de la psicología y las humanidades, ha ofrecido percepciones claras y profundas que un día formarán parte de una mejor comprensión de la naturaleza, incluida de la naturaleza humana. Me interesa esta corriente de pensamiento en diversos niveles. Además, admitámoslo, para un científico de la informática es imposible no sentirse halagado por aquellas obras que sitúan lo que esencialmente es una forma de computación algorítmica en el centro de la realidad, y estos pensadores tienden a confiar en sí mismos, a ser perspicaces, y de vez en cuando tienen nuevas y buenas ideas.

No obstante, creo que, entre los darwinistas, aquellos que representan al totalismo cibernético son a menudo incompetentes en su discurso público y tal vez, aun de forma posible-

mente no intencionada, sean en parte responsables de hacer resurgir las reacciones del fundamentalismo religioso contra la biología racional. Presentan extractos de Darwin que parecen calculadamente escogidos no sólo para crear antagonismo, sino para alienar a aquellos que no comparten sus puntos de vista. Resultan particularmente irritantes las declaraciones de algunos de los más necios psicólogos evolucionistas. Un ejemplo de ello es el libro que recientemente han publicado Randy Thornhill y Craig T. Palmer titulado *The Natural History of Rape* [la historia natural de la violación], en el que se contempla la violación como un medio "natural" de diseminar los genes. Hemos visto plantear toda clase de proposiciones y ligarlas a Darwin mediante una capa de racionalidad. De hecho, se puede utilizar estratégicamente a Darwin para defender cualquier postura. Así, Thornhill y Palmer insinúan que quienes no están de acuerdo con ellos son víctimas de la programación evolutiva que les fuerza a creer en un ficticio altruismo de la naturaleza humana. Dicen los autores que un rasgo de ese altruismo aparente es no creer en la psicología evolucionista, pues dicha desconfianza es una exhibición pública de la creencia de uno en el amor fraternal; esas exhibiciones, dicen, resultan seductoras y mejoran, por tanto, la capacidad de uno para atraer parejas. Siguiendo esta lógica, los psicólogos evolucionistas pronto se verán obligados a reproducirse en el exilio. A menos que recurran a la violación.

De todos modos, la idea de Darwin sobre la evolución era de un orden diferente a las teorías científicas previas al menos por dos razones. La razón más obvia y explosiva es que el objeto de estudio era enormemente cercano; la mente del siglo XIX se sintió conmocionada ante la idea de considerar a los animales como parientes de sangre, y hoy día la conmoción continúa. La segunda razón suele reconocerse con menos frecuencia. Darwin creó un estilo de reducción basado en

principios emergentes y no en leyes subyacentes. No hay ninguna "fuerza" evolutiva análoga, por ejemplo, al electromagnetismo. La evolución es un principio que puede discernirse como emergente en los acontecimientos, pero no puede describirse con propiedad como la fuerza que los dirige. Se trata de una sutil distinción. La historia de cada fotón es la misma, mientras que la historia de cada animal y planta es diferente. (Por supuesto, hay magníficos ejemplos de enunciados cuantitativos precisos en la teoría darwinista y en los experimentos correspondientes, pero éstos no se desarrollan ni remotamente cerca del nivel de la experiencia humana, es decir, de organismos completos que tienen complejos comportamientos en sus respectivos hábitat). "Historia" es la palabra operativa. El pensamiento evolutivo casi siempre se ha aplicado a situaciones específicas a través de historias. Una historia, a diferencia de una teoría, deja la puerta abierta al adorno y la variación; es más, las historias ganan en poder comunicativo por resonancia con otras historias primarias. Se puede aprender física sin necesidad de inventar mentalmente un relato para dar significado a los fotones y los agujeros negros; en cambio, es aparentemente imposible aprender sobre la evolución darwinista sin desarrollar a la vez un relato interior que lo conecte con otras historias que uno conoce. Al menos, ningún pensador conocido que haya estudiado el tema parece haberse enfrentado a Darwin sin unir a ello un sistema personal de valores.

Pero más allá de la cuestión de los gustos subjetivos, sigue existiendo la pregunta de si Darwin ha explicado lo suficiente. ¿No es acaso posible que exista una idea aún no expresada que explique aspectos del logro y la creatividad que Darwin no explica? Por ejemplo, ¿basta la explicación de estilo darwiniano para comprender el proceso del pensamiento racional? Una plétora de teorías recientes afirma que el cerebro produ-

ce distribuciones aleatorias de ideas subconscientes que compiten entre sí hasta que sobrevive la mejor, pero ¿encajan de verdad estas teorías con lo que hace la gente? En la naturaleza, la evolución parece ser una espléndida optimizadora, pero una estúpida estratega. (La imagen matemática que expresa esta idea es que la evolución "a ciegas" tiene enormes problemas para desembarazarse de detalles locales mínimos en un campo de energía). La pregunta clásica sería: ¿cómo es posible que la evolución creara tan maravillosos pies, pezuñas, aletas y garras pero pasara por alto la rueda? Hay numerosos hábitat donde tener ruedas sería de gran ayuda para los animales, ¿por qué no han aparecido? Ni una sola vez. (Un magnífico trabajo de plástica para tener ocupado a un alumno rebelde durante todo un curso: «¡Utiliza la ingeniería genética para crear un animal con ruedas! Prueba a ver si el ADN es capaz de hacerlo.»)

La gente inventó la rueda y otros muchos instrumentos útiles que han escapado a la evolución. Puede que la explicación sea sencillamente que las manos tenían acceso a una serie de invenciones a las que el ADN no podía acceder, pese a que ambos estaban guiados por similares procesos. Sin embargo, me parece prematuro considerar esta interpretación como una certeza. ¿No es posible que, en el pensamiento racional, el cerebro haga algo que aún no ha sido formulado, que quizá se originó en el proceso darwiniano pero que el proceso darwiniano no puede explicar?

Las primeras dos o tres generaciones de investigadores de la inteligencia artificial dieron por sentado que la evolución a ciegas no podía ser la explicación completa y asumieron que había elementos que distinguían los procesos mentales humanos de otros procesos terrenales. Muchos creyeron, por ejemplo, que los seres humanos creaban en sus mentes representaciones abstractas del mundo, mientras que el proceso

evolutivo no había necesitado hacerlo. Es más, estas representaciones parecían poseer cualidades extraordinarias, como el temible e imposible de aprehender "sentido común". Tras décadas de intentar crear, sin ningún éxito, abstracciones similares en los ordenadores, el campo de la inteligencia artificial se rindió, aunque sin admitirlo; la rendición quedó plasmada en una serie de retiradas tácticas. En la actualidad, la inteligencia artificial suele concebirse más como un arte que como una rama de la ciencia o de la ingeniería. Muchos investigadores con los que he hablado últimamente confían en que pronto el software evolucionará y podrá desarrollar una diversidad de funciones, pero parecen haber caído casi en una posmoderna, o cínica, falta de interés por comprender cómo funcionarán en realidad estos *gizmos*.

Es importante recordar que las culturas de base artesanal son capaces de crear multitud de tecnologías útiles, y que cuando nuestros antecesores acogieron con los brazos abiertos la Ilustración y el ascenso del racionalismo, su motivación no fue simplemente la posibilidad de una rápida proliferación de las tecnologías. Existía en ellos también la idea del humanismo y la creencia en la bondad del pensamiento racional y de la comprensión. ¿Estamos realmente dispuestos a abandonar todo eso?

Finalmente, he de hacer una observación empírica: a lo largo de los diez últimos años o más, se ha trabajado en todo el mundo para mejorar la calidad del software aplicando enfoques darwinistas, y, si bien es cierto que aisladamente ha habido algunos resultados fascinantes, portentosos (y que disfruto muchísimo participando en esa clase de investigaciones), también lo es que, en cuanto a mejorar el software en general, no se ha conseguido nada. Así pues, aunque me encanta Darwin, no confiaría en él como programador informático.

- *Creencia n.° 5: que los aspectos tanto cualitativos como cuantitativos de los sistemas de información se acelerarán debido a la ley de Moore.* El soporte físico de los ordenadores, el hardware, continúa mejorando y abaratándose a un ritmo exponencial conocido como "la ley de Moore": cada año y medio aproximadamente, los sistemas informáticos doblan más o menos su velocidad por el mismo precio. Las consecuencias de esto son tan asombrosas y significativas que de entrada dan vértigo. Si tuviera un ordenador un *millón* de veces más rápido que éste en el que ahora estoy escribiendo, ¿qué capacidades tendría? ¿Sería ese ordenador realmente incapaz de hacer lo que quiera que sea que hace mi cerebro? La cifra "un millón" no sólo es demasiado grande para poder captarla intuitivamente, sino que, a efectos prácticos, ni siquiera es experimentalmente accesible en la actualidad, luego no es irracional especular sobre ello. Lo que a uno le deja atónito es darse cuenta de que muchos de nosotros sabremos la respuesta en algún momento de nuestra vida, ya que un ordenador como el que menciono quizá sea un económico artículo de consumo de aquí a, digamos, treinta años.

Pero debemos contrastar rigurosamente este impresionante panorama con la Gran Vergüenza de la informática, que es nuestra aparente incapacidad de crear un software mejor al ritmo que las computadoras aumentan en rapidez. El software informático sigue siendo decepcionante. ¡No se imaginan cómo llegué a detestar Unix en los años setenta, aquel diabólico acumulador de basura que tergiversaba las funciones, enemigo del usuario! Si alguien me hubiera dicho entonces que retornar a aquel Unix vergonzosamente primitivo sería la gran esperanza y la obsesión inversora del año 2000 –sólo porque se le ha cambiado el nombre por el de Linux y se ha reabier-

to su código fuente–, no habría tenido la osadía ni los ánimos para seguir con la informática.

Si algo puede decirse sobre la cualidad del software, es que la ley de Moore funciona en este caso a la inversa: a medida que los procesadores se hacen más rápidos y la memoria se abarata, el software es cada vez más lento y está más abotargado, pues agota todos los recursos disponibles. Bueno, sé que no estoy siendo del todo justo al hablar así. La capacidad de reconocer el habla y de traducir idiomas ha mejorado, y estamos aprendiendo a ejecutar redes y bases de datos más extensas. Pero en esencia nuestras técnicas y tecnologías de software sencillamente no han progresado al ritmo del hardware. (Justo cuando una nueva raza de robots superinteligentes esté a punto de acabar con la humanidad, nuestra vieja y querida especie probablemente se salvará gracias a un súbito "cuelgue" de Windows. Los pobres robots se quedarán lastimeramente suspendidos y nos implorarán que los reiniciemos, aun sabiendo que reiniciarlos no servirá de nada.)

Hay diversos motivos por los que el software tiende a ser poco flexible, pero uno muy importante es lo que suelo llamar su "fragilidad". El software, antes que doblarse, se rompe, y por lo tanto exige perfección en un universo más dado a las estadísticas; y esto conduce a su vez a todas las inconveniencias de los sistemas tradicionales de código cerrado y otras perversiones. La distancia que existe entre los ordenadores ideales que imaginamos en nuestro pensamiento y los ordenadores reales a los que damos rienda suelta en el mundo no podría ser más desalentadora.

Es el haber convertido en fetiche la ley de Moore lo que seduce a los investigadores y les induce a la complacencia. Si uno tiene de su lado a una fuerza exponencial, seguro que superará sin dificultad todos los retos. ¿A quién le importa el entendimiento racional, cuando se puede confiar plenamen-

te en un fetiche exponencial sobrehumano? Pero el poder de procesamiento no es lo único que escala a un ritmo impresionante; también lo hacen los problemas que los procesadores han de resolver.

He aquí un ejemplo que pongo a las personas legas en la materia para ilustrar este punto. Hace diez años tenía un ordenador portátil con un programa de indización que me permitía buscar archivos por su contenido. A fin de responder con suficiente rapidez cuando realizaba una búsqueda, el programa recorría primero todos los archivos y los indexaba, exactamente igual que indexan Internet en la actualidad los buscadores como Google. El proceso duraba alrededor de una hora. Hoy tengo un portátil mucho más potente y más rápido en todos los aspectos, tal como predice la ley de Moore; sin embargo tengo que dejar que el programa de indexación trabaje durante toda la noche para ejecutar la tarea. Hay muchos otros ejemplos de cómo los ordenadores se están volviendo aparentemente más lentos a pesar de que los procesadores centrales sean cada vez más rápidos. Las interfaces computadora-usuario tienden a responder con más lentitud a los sucesos de interfaz de usuario –tales como el pulsar una tecla– que quince años atrás, por ejemplo. ¿Qué ha ocurrido?

La respuesta es complicada.

Una parte de la respuesta es fundamental. Resulta que cuando los programas y las series de datos aumentan de tamaño (y el incremento de la capacidad de almacenamiento y transmisión está regido por los mismos procesos que rigen la aceleración exponencial de Moore), el tiempo de procesamiento informático interno a menudo crece a un ritmo más que lineal. Esto se debe a ciertas desagradables realidades matemáticas ligadas a los algoritmos, como que duplicar la extensión de un problema hace que generalmente se necesite mucho más que el doble de tiempo para resolverlo. Algunos algoritmos son

peores que otros en este sentido, y un aspecto importante de una sólida educación informática universitaria es aprender acerca de ellos. Abundan los problemas en los que la escalada del tiempo de procesamiento es mucho más vertiginosa de lo que expone la ley de Moore; poquísimos de los algoritmos más esenciales tienen una estructura que escale a ritmo simplemente lineal.

Pero esto no es más que el principio. Otra realidad es que cuando las diferentes partes de un sistema escalan cada una a diferente ritmo (y esto es generalmente lo que ocurre), una parte puede verse atosigada por otra. En el caso de mi programa de indexación, el tamaño de los discos duros había crecido de hecho más aprisa que las interfaces relacionadas con ellos. Casos de escalada "chapucera" como éstos, en los que una parte del sistema no es capaz de seguir el ritmo de otra, pueden dilatar el tiempo de procesamiento. Se produce entonces un embotellamiento, muy semejante a un atasco en una calle mal trazada, y la caravana que se forma entonces es igual de engorrosa que la del viaje matutino al trabajo por un sistema vial ineficaz, e igual de difícil y cara de prever e impedir. (Se tardaba menos en atravesar las calles de Manhattan hace 100 años de lo que se tarda hoy día. Los caballos son más rápidos que los automóviles.)

Y *luego* llegamos a nuestro viejo antagonista, la "fragilidad". Cuanto mayor es el tamaño de un programa de software, más probabilidades tiene de estar bajo el dominio de alguna forma de código heredado y más atroz es el tiempo de procesamiento requerido para resolver los innumerables casos de incompatibilidad que inevitablemente surgen entre bloques de software originariamente creados en diferentes contextos. Y el problema no termina aquí; además de estos efectos, hay fallos de carácter humano que empeoran el estado del software, y muchos de ellos son sistémicos y podrían surgir incluso

si fuera un agente no humano el que escribiera el programa. Por ejemplo, supone una gran inversión de tiempo y dinero planear las cosas de antemano para facilitar así la futura tarea de los programadores; de modo que cada programador tiende a elegir estrategias que empeoran los efectos de la fragilidad. La hora de la verdad para los programadores viene impuesta, ¿cómo no?, por la ley de Moore, que provoca una rotación más acelerada aún de los ciclos de revisión de software, a fin de obtener al menos algún beneficio de la creciente velocidad de los procesadores.

No veo ninguna prueba de que la ley de Moore tenga una capacidad tan formidable como para superar todos estos problemas sin la intervención de logros intelectuales inesperados.

Un aspecto fundamental de la cuestión que estamos examinando es si el software resulta pesado y difícil de manejar a causa de un error humano, o si la dificultad es intrínseca a la naturaleza misma del software. Si el panorama que auguran Kurzweil, Drexler, Moravec y otros merece alguna credibilidad, entonces la pregunta más importante con relación al futuro de la humanidad es ésta.

Aunque sea en sentido metafórico, hay algunos hechos que apoyan la posibilidad de que la rigidez del software tenga carácter intrínseco. A fin de examinar esta posibilidad, debo quebrantar mis propias normas y ser por un momento un totalista cibernético. La naturaleza parece menos frágil que el software digital; pero si consideramos las especies como "programas", entonces sí parece que la naturaleza sufra también una crisis de software. La evolución en sí misma ha evolucionado –ha introducido el sexo, por ejemplo– pero la evolución nunca ha encontrado la manera de ganar velocidad; ha sido siempre muy lenta. Tal vez esto sea debido en parte al tiempo que necesita para explorar el espacio de las posibles varia-

ciones de un sistema causal desmesuradamente vasto y complejo a fin de hallar nuevas configuraciones viables. La lentitud natural de la evolución como medio de transformación es aparentemente sistémica, y no resultado de una pereza inherente a las partes que la componen. Por el contrario, la adaptación es capaz de alcanzar una velocidad vertiginosa en circunstancias especiales. Un ejemplo de esta rapidez de cambio es la adaptación de los gérmenes a nuestros esfuerzos por erradicarlos, y la resistencia a los antibióticos es un notable ejemplo contemporáneo de velocidad biológica.

Tanto el software creado por el ser humano como la selección natural parecen acumular capas jerarquizadas que varían en cuanto a su capacidad para agilizar los cambios. Una serie de capas de cambio lento protege determinados escenarios en los que existe un potencial de cambio más rápido. En el campo de la informática, ésta es la línea divisoria entre sistemas operativos y programas, o entre exploradores y páginas Web; en el de la biología, esa división puede verse en la mente humana, por ejemplo, entre la dinámica dominada por la naturaleza y la dominada por la educación. Pero aparentemente son las capas lúgubres las que en general definen el carácter y el potencial de un sistema.

Desde el punto de vista de algunos de mis colegas, todo cuanto se ha de hacer es identificar en un sistema cibernético una capa apta para el cambio rápido y esperar a que la ley de Moore despliegue su magia. Supongamos que uno se queda atascado mientras trabaja con Linux; podría entonces implementar en él un programa de red neural que (impulsado por la ley de Moore) crezca lo suficiente en tamaño y velocidad como para alcanzar un momento de profunda percepción y escribir de nuevo su propio sistema operativo. El problema es que, en todos los casos que conocemos, la capa que puede cambiar con rapidez no puede cambiar demasiado: los gér-

menes pueden adaptarse rápidamente a un nuevo medicamento, pero seguirían necesitando muchísimo tiempo de evolución para llegar a ser lechuzas. Tal vez se trate de un inherente factor compensatorio. Un ejemplo en el mundo digital sería que es posible escribir un nuevo *applet* de Java con suma rapidez, pero no se diferenciará mucho de otros de estos pequeños programas ya existentes; si echan ustedes un vistazo a lo que se ha estado haciendo con los *applets*, verán que lo que digo es verdad.

Y finalmente llegamos a...

- *Creencia n.° 6: el inminente cataclismo cibernético.* Cuando una persona seria se maravilla ante la ley de Moore, puede que sienta admiración, o que sienta terror. Recientemente, en el que fue tema de portada de la revista *Wired*, Bill Joy exponía una versión de ese último caso. Bill acepta las declaraciones de Ray Kurzweil y otros que creen que la Ley de Moore conducirá a la aparición de máquinas autónomas, quizá para el año 2020, que es cuando, según calculan algunos, los ordenadores habrán alcanzado aproximadamente el mismo poder que el cerebro humano. (No es que hasta el momento exista nadie con sabiduría suficiente como para poder medir y comparar un cerebro y un ordenador, pero vamos a suponer que dicha comparación significa algo.) De acuerdo con este panorama del Terror, los ordenadores no estarán ya inmovilizados en cajas, sino que serán más bien una especie de robots, conectados todos a una red y notablemente ingeniosos.

Serán capaces de realizar una labor de nanomanufactura, entre otras cosas; aprenderán con rapidez a reproducirse y a perfeccionarse, y un buen día, sin previo aviso, las nuevas supermáquinas quitarán de en medio a la humanidad con la

misma indiferencia con que los seres humanos despejan una selva para llevar a cabo un nuevo proyecto. O tal vez las máquinas decidan conservar al ser humano para hacerle soportar la clase de indignidad que plasmaba la película *Matrix*. Incluso en el caso de que las máquinas decidan dejar con vida a sus progenitores humanos, habrá seres humanos malvados que encontrarán el modo de manipular las máquinas a fin de causarnos al resto de nosotros daños indescriptibles. Éste es un panorama distinto, que Bill explora también. La biotecnología habrá avanzado hasta el punto de que los programas serán capaces de manipular el ADN como si se tratara del lenguaje de programación de Java. Si los ordenadores pueden calcular los efectos de una droga, de las modificaciones genéticas y de cualquier otro artificio biológico, y las herramientas para realizar esos artificios son baratas, entonces un solo ser humano demente es cuanto se necesita para, digamos, crear una epidemia cuyo blanco sea una raza concreta. Sin un componente de información tecnológica fuerte y barato, la biotecnología no tendría poder suficiente como para provocar una situación semejante; es en realidad el software, al ser ejecutado en ordenadores vertiginosamente rápidos, lo que, por un precio reducido, tiene el poder de modelar y dirigir la manipulación de la biologí y, por tanto, lo que está en la raíz de esta variante del Terror. No he podido transmitir en esta breve exposición todos los aspectos que preocupan a Bill, pero ya se hacen ustedes una idea.

Mi versión del Terror es diferente. Ya empieza a ser obvio que, debido a su propia actuación, a la industria biotecnológica le esperan décadas de costosos problemas de software. A pesar de los eficientes paquetes de modelado y bases de datos que las compañías y laboratorios biotecnológicos desarrollan de modo continuado, todos ellos permanecen en burbujas de desarrollo aisladas. Cada una de esas herramientas

espera que el mundo se adapte a sus requisitos; y debido a lo valiosas que son, eso es exactamente lo que hará el mundo, pero será necesario aplicar todos los recursos disponibles si se quiere resolver el problema de transmitir datos de una burbuja a otra. No se está creando nada semejante a un gigantesco y compacto cerebro electrónico con conocimientos biológicos, sino que nos encontramos ante un fragmentado revoltijo de datos y feudos de modelado. Los medios de transmisión de datos biológicos continuarán siendo los investigadores humanos, individuales y faltos de sueño, hasta que llegue ese fabuloso futuro en el que sepamos hacer un software capaz de salvar por sí mismo la distancia entre las distintas burbujas.

¿Qué aspecto adopta un futuro a largo plazo en el que el hardware es cada vez mejor, mientras que los programas de software siguen siendo mediocres? El lado positivo de que el software tenga una ínfima calidad es la cantidad de empleo que genera. Si la ley de Moore continúa actuando durante otros veinte o treinta años, no sólo habrá un inmenso índice de actividad informática en el planeta Tierra, sino que el mantener esa actividad informática consumirá el esfuerzo de prácticamente toda persona viva; estamos hablando de un planeta constituido por mostradores de asistencia técnica.

He expresado en otro momento y lugar que dicho futuro sería algo magnífico: hacer realidad el sueño socialista de dar empleo a la totalidad de los individuos a través de medios capitalistas. Pero consideremos ahora el lado oscuro.

Entre los muchos procesos que ganan en eficiencia gracias a los sistemas de información, está el proceso capitalista mismo. Un ambiente económico prácticamente exento de fricciones permite amasar fortunas, no ya en unas décadas, sino en unos meses. Por otro lado, los individuos que amasan esas fortunas siguen viviendo la misma cantidad de años que se vivían en épocas anteriores –de hecho, más–; luego aquellos que sa-

ben cómo hacerse ricos tienen la oportunidad de llegar a ser más ricos antes de morir que sus antepasados con equiparable talento. Esto encierra dos peligros. El menor y más inmediato de ellos es que los jóvenes que se acostumbran a desenvolverse en un entorno económico fantásticamente receptivo pueden sentirse emocionalmente heridos por lo que el resto de nosotros consideraríamos breves retornos a la normalidad. Y el gran peligro es que el abismo entre los más ricos y el resto de la población podría llegar a ser trascendentalmente grave. Es decir, incluso si estamos de acuerdo en que al subir la marea todos los barcos se elevan, si el índice de ascenso de los barcos más altos es mayor que el de los más bajos, la separación entre ellos será cada vez mayor. Es un hecho que la concentración de riqueza y de pobreza experimentó un incremento durante los años del auge de Internet en los Estados Unidos. Si es la ley de Moore, o algo similar, lo que lleva la batuta en este ámbito, el grado de separación podría llegar a ser catastrófico. En esto reside mi terror, en considerar el resultado último de la creciente división entre los ultrarricos y aquellos que meramente tengan una situación ligeramente más desahogada.

Con las tecnologías que existen actualmente, la diferencia entre la gente adinerada y el resto no es tan grande: el ejemplo clásico es que ambos sangran cuando se les pincha; ahora bien, con la tecnología de los veinte o treinta próximos años, quizá unos y otros se conviertan en seres notablemente distintos. Para mediados de este nuevo siglo, ¿se considerará siquiera a los ultrarricos y al resto de la población miembros de una misma especie? Las posibilidades de que se conviertan en especies esencialmente diferentes son obvias, y tan aterradoras que resulta casi una banalidad hablar de ellas. Mediante una manipulación genética, los ricos podrían hacer que sus hijos fueran más inteligentes, más agraciados y joviales; tal vez podrían incluso estar genéticamente predispuestos a de-

sarrollar una capacidad superior para la empatía, pero sólo hacia aquellas personas que reúnan una serie muy restringida de particularidades. El mero hecho de decir esto me parece indigno de mí, como si estuviera escribiendo literatura barata de ciencia-ficción; y, sin embargo, la lógica de esta posibilidad no puede ignorarse.

Exploremos una posibilidad, sólo como hipótesis. Un día, los más acaudalados de entre nosotros podrían llegar a ser casi inmortales, y convertirse a nuestros ojos prácticamente en dioses. (Se ha demostrado ya en los laboratorios la posibilidad de una ausencia de envejecimiento tanto en cultivos de células como en organismos completos). Vamos a no centrarnos ahora en las cuestiones fundamentales que plantea la "casi inmortalidad": si es moral, o incluso deseable, o cómo encontraría uno un hueco si los inmortales se empeñaran en seguir procreando. Centrémonos en cambio en examinar si la inmortalidad resultaría cara.

Tal como yo lo veo, la inmortalidad será barata si la tecnología de la información mejora sustancialmente, y será cara si el software continúa siendo tan ineficaz como es ahora.

Sospecho que la dicotomía hardware/ software reaparecerá en la biotecnología, así como en otras tecnologías del siglo XXI. Podemos considerar la biotecnología como un intento de convertir el organismo humano en un ordenador, en el sentido de que la biotecnología confía en poder organizar y manejar los procesos biológicos con mucha mayor precisión, lo cual, en un futuro lejano, permitirá tener un control absoluto del organismo; y la nanotecnología confía en poder hacer lo mismo en el ámbito de las ciencias materiales. Luego si el cuerpo y el mundo material en general pueden manipularse más fácilmente, más como si se tratara de la memoria de un ordenador, entonces el factor limitador será sin duda la calidad del software que dirija dicha manipulación.

A pesar de que es posible programar un ordenador para que haga prácticamente cualquier cosa, todos sabemos que ésta no es una descripción completa de lo que un ordenador es en la realidad. Como ya he explicado, conseguir que un ordenador ejecute determinadas tareas de considerable complejidad de un modo fiable pero que admita modificaciones, sin que se cuelgue y sin que peligre su seguridad, es esencialmente imposible. Sólo podemos ir aproximándonos a ese objetivo, y sólo a un precio altísimo.

De manera similar, hipotéticamente es posible programar el ADN para lograr casi cualquier modificación en un organismo vivo; sin embargo, todo indica que diseñar una modificación concreta y examinarla hasta el final continuará siendo inmensamente difícil. (Y, como ya he explicado, ésta podría ser una de las razones de que la evolución biológica haya sido siempre irremediablemente tan lenta.) De manera análoga, uno puede utilizar la nanotecnología para lograr que la materia haga cualquier cosa que pueda concebirse, pero probablemente resultará mucho más difícil de lo que ahora imaginamos conseguir que haga algo concreto de cierta complejidad sin presentar a la vez desastrosos efectos secundarios. Las predicciones sobre cómo la biotecnología y la nanotecnología serán capaces de crear con rapidez y a bajo precio tantas cosas nuevas bajo el sol deben contar también con que los ordenadores se convertirán en artistas de la ingeniería, semiautónomos y superinteligentes. Pero si el progreso que ha experimentado el software en el último medio siglo marca la pauta del que experimentará en el medio siglo siguiente, los ordenadores no harán tal cosa.

En otras palabras, el software ineficiente hará que las futuras piraterías biológicas como ésta de la casi inmortalidad resulten caras en vez de baratas; pues aunque todo lo demás se abarate, la parte del trabajo que depende de la tecnología informática se encarecerá.

La propuesta de una casi inmortalidad generalizada es autolimitadora. No hay espacio suficiente para dar cabida a semejante aventura. Además, afrontémoslo, si la inmortalidad llegara a ser barata, también lo serían las escalofriantes armas biológicas presentes en el panorama que expone Bill Joy. Por otro lado, si el coste de la casi inmortalidad fuera alto, el mundo podría absorberla, puesto que estaría al alcance de muchísimas menos personas; es más, éstas quizá podrían incluso mantener el hecho en secreto.

Por lo tanto, he aquí la ironía. Las mismas características de los ordenadores que nos vuelven locos hoy día y nos ofrecen a tantos de nosotros un puesto de trabajo son el mejor seguro de supervivencia a largo plazo que tiene nuestra especie en tanto exploramos el alcance remoto de la posibilidad tecnológica. No obstante, esas mismas enojosas cualidades son lo que podría hacer del siglo XXI una casa de locos dirigida por las fantasías y aspiraciones desesperadas de los superricos.

Comparto la creencia que defienden mis colegas totalistas cibernéticos de que la tecnología provocará inmensos y repentinos cambios en un futuro cercano. La diferencia es que yo creo que lo que quiera que ocurra será responsabilidad de personas individuales y de las cosas específicas que hagan. Considero que tratar la tecnología como entidad autónoma es, de entre las profecías, la que por excelencia acarrea su propio cumplimiento: no hay diferencia entre la autonomía de las máquinas y la abdicación de responsabilidades del ser humano.

Observemos por un momento el panorama titulado "los nanobots dominan el mundo". Me parece a mí que los escenarios más probables implican alguna de las siguientes variantes:

a) Hay supernanobots por todos lados, que ejecutan el viejo software, del tipo de Linux, por ejemplo. Esto podría ser interesante. Dispondríamos de buenos videojuegos, en cualquier caso.
b) Los supernanobots evolucionan al mismo ritmo que si se tratara de nanobots naturales, es decir, apenas se produce en ellos ningún cambio durante millones de años.
c) Los supernanobots hacen cosas nuevas casi de inmediato, pero dependen de los seres humanos. En todos los casos, los seres humanos serán quienes ejerzan el control, para bien o para mal.

Así pues, yo me preocuparía más por el futuro de la cultura humana que por los nuevos artilugios. Y lo que me preocupa del radicalismo cultural que exhiben los totalistas cibernéticos es que parecen no haber sido educados en la tradición del escepticismo científico. Entiendo cuál es el motivo de su embriaguez. *Hay* en la raíz de su pensar una lógica sencilla y convincente, y la elegancia de pensamiento es contagiosa.

Es muy posible que la psicología evolucionista, la inteligencia artificial, el fetiche de la ley de Moore y el resto del paquete se pongan de moda, con un furor semejante al que causaron Freud o Marx en su época. O mayor aún, teniendo en cuenta que esas ideas podrían acabar incorporadas de modo indisoluble al software que dirige nuestra sociedad y nuestras vidas. De ser así, la ideología de los intelectuales del totalismo cibernético se amplificaría; dejaría de ser una mera novedad para convertirse en una fuerza con el potencial de crear sufrimiento a millones de personas.

El mayor crimen del marxismo fue, no ya el que mucho de lo que afirmaba fuera falso, sino el que afirmara ser la única vía, esencialmente completa, para la comprensión de la vida y de la realidad. La escatología cibernética tiene en común

con algunas de las más nefastas ideologías de la historia una doctrina de predestinación histórica. No hay nada más triste, anulador o monótono que una vida vivida dentro de los confines de una teoría. Esperemos que los totalistas cibernéticos aprendan un poco de humildad antes de que llegue su día de gloria.

Parte III:

UNIVERSOS EN EVOLUCIÓN

¿CÓMO DE RÁPIDO, DE PEQUEÑO, DE POTENTE? LA LEY DE MOORE Y EL PORTÁTIL DEFINITIVO

SETH LLOYD

En la actualidad hemos creado unos aparatos llamados ordenadores, capaces de registrar y procesar cantidades ingentes de información (de hecho, una fracción significativa del volumen total de la información que los seres humanos mismos, como especie, son capaces de procesar). Cuando pienso en toda la información que se está procesando de esta manera [...] *veo que nuestra especie se halla en un punto de su historia verdaderamente interesante, que es el punto en que nuestros artefactos pronto empezarán a procesar más información de la que físicamente somos capaces de procesar nosotros.*

SETH LLOYD es profesor de ingeniería mecánica en el Instituto Tecnológico de Massachussets, MIT, donde es además investigador en jefe del Laboratorio de Investigaciones de Electrónica. Estudia problemas relacionados con la información y los sistemas complejos, desde los más reducidos (¿cómo procesan la información los átomos?, ¿cómo puede hacérseles computar?) hasta los de máxima amplitud (¿cómo procesa la información la sociedad?, ¿es posible comprender la sociedad basándonos en su habilidad para procesar información?).

La computación domina ya todas las ciencias. Es una invasión que comenzó, al parecer, hace aproximadamente cuatrocientos años, por lo que da a entender Hobbes en el primer párrafo de *Leviatán*. Explica que, al igual que consideramos que el organismo humano es como una máquina –como un reloj, en el que uno cuenta con tendones y músculos para poner la energía en movimiento, con un latido semejante al de un péndulo, y un corazón que bombea energía del mismo modo que una pesa la suministra al péndulo del reloj–, podemos considerar entonces que el Estado es análogo al cuerpo, puesto que el Estado tiene un príncipe a la cabeza, gente que constituye sus partes individuales, cuerpos legislativos que constituyen sus órganos, etcétera. En ese caso, pregunta Hobbes, ¿podemos considerar que el Estado tiene una vida artificial?

Por lo que sé, ésa fue la primera vez que se empleó la frase "vida artificial" en el sentido que la empleamos hoy día. Si tenemos un sistema físico que evoluciona de acuerdo con una serie de reglas, ¿no podríamos considerarlo como algo artificial y a la vez vivo? Hobbes no se refería explícitamente al procesamiento de información, pero eran, de hecho, ejemplos de procesamiento de información los que utilizó. Utilizó el reloj como ejemplo de instrumento diseñado precisamente con ese fin: dar información sobre la hora. La mayoría de las piezas de reloj por él descritas son mecanismos que no sólo transforman la energía, sino que proporcionan información; así, por ejemplo, el péndulo nos ofrece información del tiempo con regularidad. Cuando habla sobre el Estado y lo imagina dotado de vida artificial, se refiere en primer lugar a "la cabeza" como el asiento de los procesos de pensamiento del Estado, y, a mi entender, esa analogía muestra dos cosas: primero, el interés implícito de Hobbes en el tema de la información; y segundo, a través de ella crea la metáfora fundamental de la indagación científica y tecnológica. Cuando al pensar en las máquinas les atribuimos una especie de vida propia, y cuando pensamos en ellas como instrumentos capaces de hacer el mismo tipo de cosas que nosotros hacemos, nuestro pensamiento es asimismo el corolario, es decir, estamos haciendo el mismo tipo de cosas que las máquinas hacen. Esta metáfora, una de las más poderosas de la Ilustración, penetró la cultura popular de la época. En último término, uno podría añadir, dio origen a una dinámica representación del mundo concebido por Newton y a las grandes investigaciones en el campo de la termodinámica que se realizarían 150 años más tarde, y se convirtió en la metáfora mecánica central que informó a todas las ciencias hasta el siglo XX.

¿En qué momento empezó la gente a hablar del procesamiento de información con un enfoque tal que hizo que éste,

y no la actividad del reloj en sí, se convirtiera en la metáfora central de nuestro tiempo? Nadie había pensado en su simbolismo mecánico hasta que se empezaron a crear máquinas y se tuvieron algunos ejemplos claros, como los relojes, por ejemplo. El siglo XVII fue un fantástico siglo para la relojería; de hecho, los siglos XVII y XVIII fueron siglos fantásticos para la creación de máquinas, así de sencillo. Al igual que la gente empezó a concebir el mundo empleando metáforas tomadas de la mecánica sólo tras haber creado las primeras máquinas, la gente empezó a imaginar el mundo desde el punto de vista de la información y del procesamiento de la información sólo una vez que se empezó a tratar con éstos. Todo el material matemático y teórico necesario para concebir el mundo desde esa perspectiva estuvieron disponibles a finales del siglo XIX, pues James Clerk Maxwell, Ludwig Boltzmann y William Gibbs habían creado todas las fórmulas básicas para la mecánica estadística. La fórmula para la información se conocía ya en 1880, pero nadie sabía que trataba sobre la información; en lugar de ello, y debido a que la gente estaba familiarizada con cosas como el calor y los sistemas mecánicos que lo procesaban, se le dio a la información, en su manifestación mecánica o termodinámica, el nombre de "entropía".

Más adelante surgió la idea de construir máquinas que realmente procesaran información. Ya en el siglo XIX, Charles Babbage trató de construir una, pero resultó un caro y espectacular fracaso, y ni siquiera llegó a ser noticia. No fue hasta 1930 cuando científicos como Claude Shannon y Norbert Wiener, y antes que ellos Harry Nyquist, empezaron a pensar en el procesamiento de información con fines comunicativos, de retroacción y control, campo que más tarde se conocería como cibernética. La idea surgida en los años cincuenta y sesenta de que la cibernética resolvería todos nuestros problemas –pues nos permitiría, por ejemplo, tener una visión clara

de cuestiones como el funcionamiento de nuestros sistemas sociales– fue igualmente un fracaso, no porque la noción en sí fuera necesariamente errónea, sino porque las técnicas para llevarla a cabo eran inexistentes en aquel momento (y, si somos realistas, tal vez nunca lleguen a existir). Las aplicaciones exitosas de la cibernética ni siquiera se denominan cibernéticas hoy día, tan arraigadas están en la tecnología de algunos campos, como la teoría del control, y en las técnicas aeroespaciales que se utilizaron para llevar al hombre a la Luna. Y esto nos trae al siglo XXI e Internet, que en cierto sentido son casi el malévolo hermano gemelo de la cibernética. La palabra "cibernética" proviene del término griego *kybernotos*, que significa gobernante (timonel, en realidad). El *kybernotos* era el piloto de una nave. La cibernética, tal como fue concebida en un principio, trataba sobre gobernar, controlar o guiar. Lo magnífico acerca de Internet, desde mi punto de vista, es que está totalmente fuera de control.

En mi formación de físico se me enseñó a pensar en el mundo en función de la energía, del momento, de la presión, de la entropía: existe una inmensa energía, suceden cosas, unas ejercen presión sobre otras, las cosas van dando tumbos. Pero ésta es sólo una mitad de la historia. La otra mitad, la mitad complementaria, es la historia que trata de la información, y aquí la cibernética estaba fundamentalmente en lo cierto. En un sentido se puede contemplar lo que sucede en el mundo como energía, como cosas en movimiento, que rebotan unas contra otras; ésta es la manera como la gente ha concebido el mundo durante más de 400 años, desde Galileo y Newton. Pero lo que está ausente de la representación es lo que ese material *hace*; ésta es una pregunta relacionada con la información. ¿Qué está sucediendo? Considerar el mundo desde la perspectiva de la información es complementario a considerarlo desde la perspectiva de la energía. A mi entender,

en ello reside la acción: en considerar el mundo como una confluencia de información y energía, cuya contienda hace posible cualquier fenómeno. De eso exactamente trata la cibernética. El padre de la cibernética, Norbert Wiener, la concibió en términos de información, estudiando aspectos como el control de retroalimentación. ¿Cuánta información se necesita, por ejemplo, para hacer que algo ocurra? Los primeros en estudiar estas cuestiones resultaron ser los físicos, y la primera persona en darse cuenta de la indudable conexión entre la información, la entropía, y las cantidades físicas tales como la energía, fue Maxwell, que en los años 1850 y 1860 anotó fórmulas que relacionaban lo que ahora llamaríamos información con factores como la energía y la entropía.

Lo que fundamentalmente distingue a la humanidad de otros seres vivos es nuestro modo de tratar la información. En un momento de nuestra trayectoria, quizá alrededor de 100.000 años atrás, desarrollamos el lenguaje natural, que es un método universal de procesamiento de información, y desde entonces la historia de los seres humanos se ha basado en desarrollar formas cada vez más elaboradas de tratar la información, de registrarla, procesarla, transformarla. En la actualidad hemos creado unos aparatos llamados ordenadores, capaces de registrar y procesar cantidades ingentes de información (de hecho, una fracción significativa del volumen total de la información que los seres humanos mismos, como especie, son capaces de procesar). Cuando pienso en toda la información que se está procesando de esta manera –toda la información que se comunica a través de Internet, el volumen total que está siendo procesado por los seres humanos y sus artefactos–, veo que nuestra especie se halla en un punto de su historia verdaderamente interesante, que es el punto en que esos artefactos pronto empezarán a procesar más información de la que físicamente somos capaces de procesar no-

sotros. Así es que tengo que preguntar: ¿cuántos bits por segundo se procesan en mi cabeza? Puedo hacer un calculo aproximado. Hay alrededor de 10.000 millones de neuronas, cada una de las cuales procesa alrededor de 100 bits cada milésima de segundo, luego la potencia total de procesamiento de información del cerebro es de aproximadamente 1.000 billones de bits por segundo. Si uno cree que es en el procesamiento de la información donde se encuentra la acción, quizá eso signifique que los seres humanos no van a dejar de estar donde está la acción. Pero al haber creado aparatos que ejecutan este masivo procesamiento de información, nosotros, como especie, estamos singularmente situados para poder disfrutar de una vida interesante de maneras completamente insospechadas.

Todo sistema físico, por el mero hecho de existir, puede registrar información. Y todo sistema físico, por el mero hecho de evolucionar según la dinámica que le es propia, puede procesar esa información. Me interesa averiguar cómo registra información el mundo y cómo la procesa. Pero dado que soy un científico que trata con el aspecto físico de cómo procesan información las cosas, esa noción me interesa de un modo más específico. Quiero descubrir no sólo cómo lo hace, sino *cuánta* información está procesando el mundo. He elaborado recientemente métodos para asignar valores numéricos a la cantidad de información que se procesa, a través simplemente de la dinámica física ordinaria. Hace unos años se me ocurrió formular esta pregunta: dados los límites fundamentales que tiene el mundo tal como está constituido *–1)* la velocidad de la luz, que limita la rapidez con que la información puede llegar de un lugar a otro; *2)* la constante de Planck, que nos explica, en la escala cuántica, cómo de pequeño puede llegar a ser algo antes de desaparecer completamente, y *3)* la última constante fundamental de la naturaleza, la cons-

tante gravitatoria, que esencialmente viene a decirnos cómo de grande puede llegar a ser algo antes de desplomarse–, teniendo en cuenta todo esto, ¿cuánta información puede realmente llegar a procesarse? Resulta que la parte más difícil de esta pregunta es el hecho en sí de haberla concebido. Una vez que logré formularla, me llevó sólo entre seis meses y un año encontrar la manera de responder a ella, puesto que la parte física implicada es bastante directa y sencilla: implica la mecánica cuántica, la gravitación, y quizá contiene también un poco de gravitación cuántica, pero no lo bastante como para crear excesivas dificultades.

El otro motivo de intentar responder a esta pregunta era analizar la ley de Moore. Muchos de los objetos más valorados en nuestra sociedad son producto de esta prodigiosa ley de miniaturización. Nos hemos vuelto *extremadamente* diestros en hacer los componentes de los sistemas *extremadamente* pequeños. Esto es lo que ha permitido el increíble crecimiento de la potencia de los ordenadores, lo que ha permitido el asombroso crecimiento de la tecnología de la información y las comunicaciones (como Internet), y lo que ha permitido prácticamente cualquier avance tecnológico en el que uno pueda pensar, incluidos campos como la ciencia de los materiales. Me gusta considerarlo como la mayor conquista en la historia de la humanidad.

Desde la perspectiva de la ingeniería, hay dos formas de aumentar las dimensiones de algo. Una es hacerlo físicamente más grande, y los seres humanos han dedicado mucho tiempo a ello: han tratado de encontrar maneras de suministrar mayor potencia a los sistemas; han construido edificios más altos; han expandido su territorio a costa de otros, etcétera. Pero hay otra forma de hacer que las cosas sean más grandes, y es haciendo las cosas más pequeñas. El tamaño real de un sistema no es el que de hecho presenta; su tamaño real es la propor-

ción entre la pieza más grande de un sistema y la más pequeña (es decir, la pieza más pequeña de un sistema que de hecho pueda ponerse en funcionamiento). Por ejemplo, la razón de que los ordenadores sean hoy mucho más potentes que hace diez años es que, cada año y medio aproximadamente, el tamaño de sus componentes básicos (cables, chips lógicos y demás) se ha ido reduciendo a la mitad. Esto se conoce como la ley de Moore, que es simplemente un hecho histórico relativo a nuestra tecnología.

Cada vez que el tamaño de un componente se reduce a la mitad, se puede meter el doble de componentes en una caja, así es que cada dos años más o menos la potencia de los ordenadores se duplica, y en el transcurso de cincuenta años esa potencia se ha multiplicado por un millón o más. El mundo se ha hecho, en este sentido, un millón de veces más grande, ya que hemos sido capaces de hacer las piezas utilizables del mundo un millón de veces más pequeñas. Por lo tanto, estamos viviendo tiempos apasionantes. Ahora bien, hay una pregunta que es razonable hacer: ¿dónde acabará todo esto? Desde que Moore propuso su ley a principios de los sesenta, ha sido descartada multitud de veces. Se descartó a comienzos de los setenta porque se pensó que las técnicas de fabricación de circuitos integrados no funcionarían y no sería posible hacer piezas de dimensiones inferiores a 10 micrones. Actualmente vuelve a descartarse porque se dice que las barreras aislantes que hay entre los cables de los ordenadores están empezando a tener sólo unos átomos de grosor, y los electrones pueden entonces atravesarlas, por lo cual no resultan un aislante demasiado seguro. Bueno, quizá eso detenga la ley de Moore; pero nada ha logrado hacerlo hasta el momento.

¿Llegará un punto en que haya de detenerse la ley de Moore? Al hacer esta pregunta estoy refiriéndome a los límites físicos últimos de la computación: no se pueden enviar señales

a mayor velocidad que la de la luz; no se pueden hacer las cosas más pequeñas de lo que las leyes de la mecánica cuántica permiten; y si se hacen cosas demasiado grandes, sencillamente estallan desintegrándose en un gigantesco agujero negro. Y por lo que hasta ahora sabemos, es imposible engañar a la Madre Naturaleza.

He pensado que podría ser interesante examinar qué dicen las leyes de la física en cuanto a cómo de rápido, pequeño y potente puede llegar a ser un ordenador. En realidad, las dos preguntas –«teniendo en cuenta las leyes de la física, ¿qué potencia pueden alcanzar los ordenadores?» y «¿en qué punto se detendrá finalmente la ley de Moore?»– resultan ser la misma, ya que la respuesta a ambas está en el mismo lugar, y es: cuando todos y cada uno de los recursos físicos disponibles –cada pequeña partícula subatómica, cada gramo de energía, cada fotón de nuestro sistema– sea empleado para ejecutar la computación. La cuestión es entonces: ¿y cuánta computación es ésa? Para poder investigarlo, he pensado que una forma de comparación razonable sería tomar como modelo lo que yo llamo el "portátil definitivo".

Se me ocurre que podemos referir las leyes de la física y los límites fundamentales de la informática a algo con lo que estamos familiarizados: algo realizado a escala humana y con una masa de 1 kilogramo aproximadamente, como un bonito ordenador portátil de alrededor de 1 litro de volumen, ya que un kilogramo, un litro, se sostiene con facilidad en el regazo, su tamaño permite una visión bastante aceptable, puede guardarse en el portafolios, etcétera. Después de trabajar en la resolución de este problema durante casi un año, pude demostrar que las leyes de la física ofrecen respuestas absolutas a cuánta información es posible procesar con un kilogramo de materia confinada en un volumen de un litro. La cantidad de información que puede procesarse, el número de bits que pue-

den registrarse en el ordenador, y el número de operaciones por segundo que uno puede ejecutar con esos bits están todos relacionados con las cantidades físicas básicas, es decir, con las constantes de la naturaleza mencionadas anteriormente: la velocidad de la luz, la constante de Planck y la constante gravitatoria. Resulta bastante sencillo demostrar, concretamente, que el número de operaciones lógicas básicas por segundo que pueden realizarse utilizando determinada cantidad de materia es proporcional a la energía de esa materia.

A aquellos lectores con una mente de inclinación técnica no les resultará difícil atrapar al vuelo la famosa fórmula $e = mc^2$ y mostrar, utilizando los descubrimientos de Norman Margolus y Lev Levitin, que el número total de operaciones lógicas elementales que se pueden realizar por segundo empleando un kilogramo de materia es la cantidad de energía, mc^2, multiplicada por 2, dividida por h-bar (constante de Planck), multiplicada por pi. Bien, no hace falta ser Einstein para calcularlo. La masa es de 1 kilogramo; la velocidad de la luz, es 3 x 10^8 metros por segundo, luego mc^2 es aproximadamente igual a 10^{17} julios. Se trata de una cantidad considerable de energía; creo que es más o menos la cantidad que emplean todas las plantas nucleares del mundo en el transcurso de una semana. Mucha energía. Pero vamos a suponer que pudiéramos emplearla para realizar una computación. Tenemos 10^{17} julios; y h-bar es alrededor de 10^{-34} julios por segundo. Si dividimos 10^{17} julios entre 10^{-34} julios por segundo, el resultado es el número de operaciones: 10^{51} operaciones por segundo. Éste es el número de operaciones que se pueden ejecutar, y 10^{51} es aproximadamente 1.000 billones de billones de billones de billones de operaciones por segundo, es decir, mucha mayor rapidez que la de un ordenador portátil convencional. Ésa es la respuesta. Esta cifra no puede superarse; es, atendiendo a las leyes de la física, la velocidad máxima.

Presenté esta información en la revista *Nature* hace un par de años, y desde entonces no he dejado de recibir llamadas de gente que quiere encargar uno de estos ordenadores portátiles. Desgraciadamente, aún no se ha construido la maquinaria necesaria para fabricarlos. Uno quizá se pregunte por qué son comparativamente tan lentos nuestros portátiles actuales, cuando llevamos ya alrededor de cincuenta años en el camino de la ley de Moore. La respuesta es que los ordenadores convencionales cometen el error (que podría considerarse una característica de seguridad del portátil) de traducir la mayor parte de su energía en el aspecto material formal, es decir, en lugar de emplear esa energía en manipular información y transformarla, la mayor parte de ella se invierte en hacer que ese portátil exista como tal. Si tomáramos la producción de energía generada por todas las plantas nucleares del mundo durante una semana y la liberáramos toda de una sola vez, nos encontraríamos ante algo muy parecido a una explosión termonuclear, puesto que dicha explosión es esencialmente resultado de tomar aproximadamente 1 kilogramo de materia y transformarlo en energía. Por lo tanto, está claro que el portátil definitivo presentaría serios problemas de fabricación y embalaje. Sería muy difícil impedir que este artefacto hiciera volar por los aires, no ya a uno mismo, sino la ciudad entera de Boston, la primera vez que se cargara el sistema operativo.

Huelga decir que no di con la manera en la que podríamos embalar este portátil, pero no deja de ser divertido intentar calcularlo atendiendo a las leyes supremas de la física. Decidí calcular primero cuántas operaciones por segundo podríamos realizar, y ocuparme del embalaje después. Una vez sabido que la cifra de operaciones por segundo es 10^{51}, la pregunta siguiente es qué espacio de memoria tiene este ordenador.

Cuando salgo a comprarme un portátil nuevo, lo primero que pregunto es cuántas operaciones por segundo es capaz de ejecutar. Si éstas oscilan en torno a los 100 megahercios, quiere decir que es bastante lento según los criterios actuales; si alcanzan 1 gigahercio, significa que es bastante rápido, aunque estamos aún muy lejos de las 10^{51} operaciones por segundo; con 1 gigahercio, nos aproximamos a las 10^{10}, 10^{11}, 10^{12}, dependiendo de cuántas operaciones por segundo se estén contando. Lo siguiente es: ¿cuál es el número de bits?; ¿qué tamaño tiene el disco duro de este ordenador, o qué tamaño tiene su memoria RAM? Podemos, igualmente, utilizar las leyes de la física para calcularlo, y computar la capacidad de memoria es algo que hubiera podido hacerse ya en las primeras décadas del siglo XX.

Sabemos cómo contar bits. Tomamos el número de estados, y el número de estados es dos elevado a la potencia del número de bits. Diez bits serán 2^{10} estados. Seguimos avanzando hasta ver que con 300 bits –2^{300}– la cifra es de 10^{100}estados, que es en esencia ligeramente superior al número de partículas del universo. Si tuviéramos 300 bits, podríamos asignar a cada partícula del universo un número de serie, lo cual significa un poderoso empleo de la información. Se podría usar un número muy reducido de bits para caracterizar un número inmenso de objetos.

¿Cuántos bits tiene ese portátil definitivo?

Tengo un kilogramo de materia reducido al volumen de un litro. ¿Cuántos estados, o sea, cuántos posibles estados de la materia reducida al volumen de un litro, puede haber? Casualmente, es un cómputo que sé realizar, porque estudié cosmología, y en cosmología hay un acontecimiento llamado el *Big Bang*, ocurrido hace alrededor de 13.000 millones de años, durante el cual la densidad de la materia y la presión a la que se vio sometida eran extremas; aprendí, por tanto, a

calcular el número de estados de la materia en dichas condiciones. Por supuesto, la densidad de nuestro portátil definitivo no es tan enorme; se trata de 1 kilogramo de materia contenido en el volumen de un litro; no obstante, si queremos saber cuál es el número de estados correspondiente, tenemos que calcular cada una de las posibles configuraciones, cada uno de los estados cuánticos elementales posibles para ese kilogramo de materia con ese preciso volumen. Resulta que, al considerar la mayoría de esos estados, esta materia parece hallarse en medio de una explosión termonuclear; parece una pequeña parte del *Big Bang* segundos después de que se originara el universo, cuando la temperatura oscilaba en torno a los 1.000 millones de grados. Si queremos averiguar cuáles son a esa temperatura la mayoría de los estados de la materia –considerando que ésta esté completamente liberada y sea capaz de hacer lo que quiera– vemos que esa materia se asemeja mucho a un plasma a una temperatura de 1.000 millones de grados Kelvin: electrones y positrones se van formando de la nada para volver luego a convertirse en fotones; hay un sinfín de partículas elementales que pasan volando a velocidad vertiginosa, y hace mucho calor. Es formidable la cantidad de sucesos que ocurren a un tiempo, y sin embargo aún se puede contar el número de posibles estados empleando los métodos convencionales que se utilizan para contar los estados existentes en los comienzos del universo. Si tomamos el logaritmo del número de estados, logramos una cantidad que normalmente se considera como la entropía del sistema. Esto nos dará el número de bits; veremos que hay aproximadamente 10^{31} bits disponibles, lo cual significa que hay 2 a la 10^{31} estados posibles en los que esta materia podría encontrarse. Eso son muchos estados, pero podemos contarlos. Lo interesante es que tenemos 10^{31} bits y estamos ejecutando 10^{51} operaciones por segundo, luego cada bit puede ejecutar

alrededor de 10^{20} operaciones por segundo. ¿Qué significa esta cantidad?

Resulta que esta cantidad –o sea, el número de operaciones por segundo por bit– es esencialmente la temperatura del plasma. Si tomo este número y lo multiplico por la constante de Planck, lo que obtengo es, en esencia, la energía por bit. Eso es precisamente la temperatura: nos dice cuál es la energía por bit, de cuánta energía dispone cada bit para ejecutar una operación lógica. Sabiendo que si dispongo de cierta cantidad de energía puedo ejecutar cierto número de operaciones por segundo, la temperatura me dice entonces cuántas operaciones por bit por segundo puede ejecutar ese Portátil Definitivo, ese kilogramo de materia de un litro de volumen: es el número de operaciones por bit por segundo que eran capaces de ejecutar aquellas partículas elementales allá en el principio de los tiempos, en el *Big Bang* –(el número de veces que un bit puede voltearse, el número de veces que puede interactuar con los bits contiguos, el número de operaciones lógicas elementales). Y es un número, ¿no es así? 10^{20}, lo mismo que es un número la cantidad total de bits, 10^{31}, un parámetro físico que caracteriza un kilogramo de materia y un litro de volumen. De modo similar, 10^{51} operaciones por segundo es el número de operaciones por segundo que caracteriza un kilogramo de materia, ya tenga el volumen de un litro o no.

Hemos recorrido ya un buen trecho en esta indagación, luego no tiene sentido que nos detengamos, al menos mientras se trate de ejercicios teóricos que no pueden hacer daño a nadie. Hasta el momento hemos empleado exclusivamente las constantes elementales de la naturaleza: la velocidad de la luz, que nos dice cuánta energía obtenemos de una masa concreta, y la escala de Planck, que nos permite saber, por un lado, cuántas operaciones por segundo se pueden obtener de cierta cantidad de energía y, por otro, cómo contar el número

de estados disponibles para esa cantidad de energía; esto nos permite calcular el número de operaciones por segundo que cierta cantidad de materia puede ejecutar, así como la cantidad de espacio de memoria de que disponemos para nuestro ordenador supremo.

A partir de aquí podemos calcular también toda clase de cuestiones interesantes, cómo cuál es el posible índice de entrada/ salida para todos estos bits en un volumen de un litro. Podemos plantear: «Bien, aquí tenemos todos estos bits, reposando en este volumen de 1 litro; desplacemos este volumen, una distancia igual a la suya propia, a la velocidad de la luz». Ésa es la velocidad máxima posible de entrada y salida de información; y vemos que podemos conseguir una entrada y salida de alrededor de 10^{40} o 10^{41} bits por segundo en nuestro portátil definitivo, lo cual nos indica cómo de rápido podría ser el módem que utilizáramos en él: cuántos bits por segundo podrían recibirse y transmitirse a través del Internet Definitivo, lo que quiera que éste fuera. Se me ocurre que, en nuestra representación, el Internet Definitivo sería simplemente el espacio mismo.

He subrayado que estas cifras no pueden superarse de ningún modo, pues éstas son las leyes de la física. Sin embargo, tal vez sea posible mejorar otros aspectos. Consideremos, por ejemplo, la arquitectura de este ordenador, que realiza 10^{51} operaciones por segundo, con 10^{31} bits. Cada bit puede girar 10^{20} veces por segundo. Es una velocidad considerable. La siguiente pregunta es cuánto tiempo emplea un bit de este lado del ordenador en enviar una señal a un bit del otro lado del ordenador durante la ejecución de una operación dada.

Como ya hemos determinado, este ordenador tiene el volumen de un litro, lo cual significa que mide más o menos 10 centímetros por cada lado, y esto supone que la luz tarda aproximadamente 10^{-10} segundos –una diez mil millonésima

de segundo– en llegar de un lado a otro. Los bits giran 100 millones de billones de veces por segundo, luego este bit gira 10.000 millones de veces en el tiempo que tarda una señal en llegar de un lado a otro del ordenador. A esto es a lo que se llama computación paralela. Podría decirse que –en los tipos de densidad a los que estamos acostumbrados, como 1 kilogramo por el volumen de 1 litro, que es la densidad del agua– realizar una computación muy paralela sólo sería posible si fuéramos capaces de llevar la computación a sus límites últimos; es enorme la acción computacional que se realiza en un lado del ordenador durante el tiempo que tarda la señal en llegar al otro lado y volver.

¿Cómo podemos mejorar el funcionamiento actual? ¿Cómo podemos hacer que sea más consecutiva la computación?

Vamos a suponer que queremos que nuestra máquina realice una computación más en serie, de modo que, en el tiempo empleado en enviar una señal de un lado del ordenador al otro, se ejecuten menos operaciones. La solución obvia es hacer el ordenador más pequeño, ya que si reduzco su tamaño a la mitad, la luz –es decir, la señal, la información– necesitará sólo la mitad de tiempo en llegar de un lado a otro. Si lo hago diez veces más pequeño, el tiempo que tardará en recorrer esa distancia será nada más que una diez mil millonésima del que tardaba anteriormente. Algo que también puede verse es que, al reducir el tamaño del ordenador, sus componentes tienden a ser más veloces, ya que es mayor la energía disponible por bit en cada caso. Si uno sigue los cálculos paso a paso, ve que, cuanto más pequeño es el ordenador, cuanto más comprimida está la masa y menor es su volumen, más seriada puede ser la computación.

¿Hasta dónde llega este proceso? ¿En qué momento puede cada bit del ordenador comunicarse con cada uno de los restantes bits en el mismo tiempo que tarda un bit en voltear-

se? ¿En qué momento podrá hablar cada persona con todas las personas restantes en el mismo tiempo que a cada persona le lleva hablar con sus vecinos?

A medida que el tamaño del ordenador se reduce, su densidad aumenta; nos encontramos con un kilogramo de materia cuyo volumen es cada vez menor. La materia va adoptando configuraciones cada vez más interesantes, hasta que llega un punto en el que tendrá que soportar una gran presión para poder mantener el sistema en un volumen tan sumamente pequeño. La materia adopta configuraciones cada vez más extrañas y tiende a calentarse cada vez más, desmesuradamente; hasta que en determinado momento ocurre algo fatal: la luz ya no tiene escape posible. Esa materia se ha convertido en un agujero negro.

¿Qué le sucede entonces a la computación? Para la computación, esto es probablemente terrible, ¿no? O, mejor dicho, será algo terrible para la entrada/salida de información. La entrada será buena, porque la información entrará, pero la salida no, porque no sale, dado que estamos ante un agujero negro. Afortunadamente, sin embargo, estamos a salvo, ya que las leyes de la mecánica cuántica que empleábamos para calcular cuánta información puede computar un sistema físico, a qué velocidad puede ejecutar los cómputos y cuánta información puede registrar, siguen estando vigentes.

Stephen Hawking demostró en los años setenta que los agujeros negros, si se tratan aplicando la mecánica cuántica, pueden irradiar información. Esto plantea la interesante controversia de si esa información tiene algo que ver con información que entró. Hawking y el físico teórico del Caltech (Instituto Tecnológico de California) John Preskill tienen en pie una famosa apuesta: Preskill insiste en que la información que sale de un agujero negro refleja la información que entró; Hawkins, por el contrario, dice que la información que sale

de un agujero negro, la información que éste emite, no guarda ninguna relación con la información recibida, que desaparece sin más. No sé cuál es la respuesta.

Pero supongamos por un momento que Hawking esté equivocado y Preskill tenga razón. Ese agujero negro de 1 kilogramo al que nos referíamos emitirá información a una velocidad enorme; sus fotones emisores tendrán una longitud de onda de 10^{-27} metros, y les aseguro que no es algo a lo que le gustaría a uno estar próximo; de hecho, sería muy semejante a una explosión descomunal. Pero vamos a suponer que la información que el agujero negro irradia es en verdad la misma información que entró y lo construyó en un principio, y que simplemente ha experimentado una transformación muy particular. Lo que en ese caso nos encontramos es que se puede considerar, en cierto sentido, que el agujero negro ejecuta una computación.

Tomamos la información acerca de la materia utilizada para formar el agujero negro, la programamos (es decir, le damos una configuración concreta: colocamos un electrón aquí, otro electrón allá, hacemos que todo ello vibre de determinada manera), y finalmente hacemos que se colapse en un agujero negro. Y 10^{-27} segundos después –o sea, en una cienmillonésima de billón de segundo–, hace ¡bum!, y toda la información sale de él de nuevo, sólo que transformada por una dinámica desconocida. Nos haría falta, de hecho, tener una noción de algo como la teoría de cuerdas o la gravedad cuántica para poder concebir cómo ha sido transformada esa información; aun así, podemos imaginar que ese agujero negro tendría capacidad de funcionar igual que un ordenador. No sabemos cómo hacerlo computar, pero lo cierto es que recoge información, la transforma de un modo sistemático de acuerdo con las leyes de la física, y luego, ¡bum!, nos la lanza otra vez. Vamos a suponer también que pudiéramos leer la

información que sale del agujero negro; habríamos realizado entonces la computación definitiva que es posible realizar utilizando un kilogramo de materia, en este caso comprimida en un volumen de 10^{-81} metros cúbicos.

¿Hay algo más que decir sobre el tema? Después de enviar el artículo sobre el Portátil Definitivo a *Nature*, me di cuenta de que no había sido suficientemente ambicioso; vi que la pregunta obvia que debía uno formularse no era «¿cuál es la capacidad computacional última de un kilogramo de materia?», sino «¿cuál es la capacidad computacional última del universo como un todo?» Porque, en definitiva, el universo procesa información constantemente, ¿no es así? Por el mero hecho de existir, todos los sistemas físicos registran información; por el mero hecho de que su dinámica física natural evoluciona, transforman esa información, la procesan. La verdadera cuestión es cuánta información ha procesado el universo desde el *Big Bang*.

LA EDAD DE ORO DE LA COSMOLOGÍA

ALAN GUTH

La teoría clásica no era realmente la teoría de una explosión; era una teoría sobre el período subsiguiente a esa explosión. Comenzaba a partir del punto en el que toda la materia del universo existía ya como tal, experimentaba ya una rápida expansión, estaba ya incandescente. No daba ninguna explicación de cómo había llegado a aquello el universo. La teoría de la inflación es un intento de responder a la pregunta de qué hizo que el universo estallara, y en la actualidad parece ser, casi con total seguridad, la respuesta correcta.

ALAN GUTH, padre de la teoría inflacionaria del universo, ocupa la cátedra Victor F. Weisskopf de física en el MIT. Sus investigaciones se centran en la teoría de las partículas elementales y la aplicación de esa teoría a los orígenes del universo. En 2002, el Centro Internacional de Física Teórica le concedió la Dirac Medal, junto a Paul Steinhardt y Anderi Linde, por su creación del concepto de inflación en cosmología. Es autor de *El universo inflacionario*.

Se dice a menudo –y creo que el dicho tiene su origen en el astrofísico fallecido hace unos años David Schramm– que nos encontramos en una edad de oro de la cosmología. Es cierto. La cosmología está experimentando una transición; de ser una colección de especulaciones, ha pasado a convertirse en una rama genuina de la ciencia más estricta, en la que es posible desarrollar teorías y verificarlas mediante la observación minuciosa. Uno de sus aspectos más interesantes es la predicción de las fluctuaciones, o irregularidades, de la radiación cósmica de fondo. Consideramos que dicha radiación es el resplandor residual de la explosión de calor del *Big Bang*, la Gran Explosión, y es uniforme en todas las direcciones con una precisión de 1 parte en 100.000 una vez sustraído el término relativo al movimiento de la tierra a través de la radiación de fondo.

He trabajado con ahínco en la llamada teoría del universo inflacionario, que parece ofrecer la mejor explicación hasta

el momento a esa uniformidad. La uniformidad es difícil de entender. Quizá en principio uno imagine que puede explicarse mediante los mismos principios físicos que hacen que un trozo de pizza caliente se enfríe cuando lo sacamos del horno: las cosas parecen llegar todas a una temperatura uniforme. Pero una vez resueltas las ecuaciones de la cosmología para poder calcular a qué velocidad se ha expandido el universo en cualquier momento dado, los físicos pudieron calcular de cuánto tiempo dispuso esta uniformidad para establecerse. Pudo verse entonces que, para que el universo se hiciera uniforme a velocidad suficiente y pudiera así explicarse la uniformidad que encontramos en la radiación cósmica de fondo, la información hubiera debido ser transmitida a aproximadamente 100 veces la velocidad de la luz. El problema es que, según todas las teorías de la física, nada puede viajar a mayor velocidad que la luz; por lo tanto, la versión clásica de la teoría del *Big Bang* simplemente aceptó que el universo fue homogéneo, es decir, completamente uniforme, desde el primer momento.

La teoría del universo inflacionario es un complemento de la teoría estándar del *Big Bang*, y lo que añade básicamente es una descripción de lo que en un principio hizo expandirse al universo. En la versión clásica de dicha teoría, esa expansión formó parte de una serie de circunstancias iniciales dadas por hechas; no se ofrece al respecto ninguna clase de explicación. La teoría clásica de la Gran Explosión no era realmente la teoría de una explosión; era una teoría sobre el período subsiguiente a ella. Comenzaba a partir del punto en el que toda la materia del universo existía ya como tal, experimentaba ya una rápida expansión, estaba ya incandescente; no daba ninguna explicación de cómo había llegado a aquello el universo. La teoría de la inflación es un intento de responder a la pregunta de qué hizo que el universo estallara, y en la actualidad parece ser, casi con total seguridad, la respuesta correcta,

pues explica no sólo cuál fue la causa de que el universo se expandiera, sino también lo que originó esencialmente toda la materia del universo en un mismo momento. Digo "esencialmente" porque, en una versión típica de la teoría, la inflación necesita alrededor de un gramo de materia para comenzar; por consiguiente, la inflación no es del todo una teoría de los orígenes últimos, sino la teoría de una evolución que explica lo que vemos a nuestro alrededor partiendo de *casi* nada.

La teoría de la inflación aprovecha los resultados de la moderna física de partículas, que predice que, a energías muy elevadas, existirían peculiares clases de sustancia que invertirían la gravedad, produciendo fuerzas gravitatorias repulsivas. La explicación inflacionaria es la idea de que el universo primigenio contenía al menos una pizca, de esta sustancia tan peculiar. Una partícula es cuanto se necesita, y, de hecho, basta con que ésta sea mil millones de veces más pequeña que un protón; porque una vez que esa partícula existe, su propia repulsión gravitatoria la hace crecer, y pronto alcanza una vastedad suficiente como para abarcar el universo entero que observamos.

Desde que Einstein originariamente lo propusiera, la relatividad general ha predicho la posibilidad de una gravedad repulsiva; en el contexto de la relatividad general, para crear esa gravedad repulsiva se necesita una materia con una presión negativa. Según la relatividad general, no son sólo las densidades de la materia o las densidades de la energía lo que crea campos gravitatorios; lo son también las presiones. Una presión positiva crea un campo gravitatorio normal, atractivo, del tipo al que estamos acostumbrados; mientras que una presión negativa crea un tipo de gravedad repulsiva. Según la moderna teoría de partículas, resulta que es fácil construir materiales de presión negativa a partir de campos que existen de acuerdo con estas teorías. Al unir estas dos ideas –el que

la física de partículas nos ofrece estados de presión negativa y el que la relatividad general nos dice que esos estados causan una repulsión gravitatoria– llegamos al origen de la teoría inflacionaria.

La teoría inflacionaria da una explicación simple de la uniformidad del universo observado, porque, en el modelo inflacionario, el universo empieza siendo increíblemente diminuto. Habría habido tiempo más que suficiente para que un área tan diminuta alcanzara una temperatura y densidad uniformes, por los mismos mecanismos a través de los cuales el aire de una habitación alcanza una densidad uniforme en todas las partes de la habitación. En el diminuto universo primigenio que el modelo inflacionario propone, habría habido suficiente tiempo para que esos mecanismos produjeran una uniformidad casi perfecta. Acto seguido, la inflación empieza a actuar y magnifica esta reducida área, que adquiere dimensiones tan enormes como para abarcar el universo entero, manteniéndose la uniformidad a medida que la expansión se produce.

Durante un tiempo, al principio de desarrollar la teoría, nos preocupaba poder encontrarnos con una uniformidad excesiva. Una de las características asombrosas del universo es lo increíblemente uniforme que es, pero, aun así, no es en modo alguno completamente uniforme. Existen en el universo galaxias, cúmulos de galaxias, estrellas y toda clase de complicadas estructuras que hay que explicar de alguna forma. Si el universo empezó siendo completamente uniforme, habría debido permanecer así, ya que no existía nada que hubiera podido hacer que la materia se acumulara en ningún lugar determinado.

Basándose en las anteriores propuestas de Chibisov y Mukhanov, Stephen Hawking fue uno de los primeros en explorar la que ahora consideramos que es la respuesta a esta adi-

vinanza. Hawking mostró –pese a que sus cálculos iniciales no fueron exactos– que los efectos cuánticos podían ayudarnos a resolver el enigma. La física clásica no describe plenamente el mundo real, y nosotros sin embargo estábamos haciendo unas descripciones absolutamente clásicas, mediante ecuaciones deterministas. Según lo que entendemos sobre física, el mundo real sólo puede describirse de acuerdo con la mecánica cuántica, lo cual fundamentalmente significa que todo ha de ser descrito en términos de probabilidades. El mundo clásico que percibimos, en el que todo objeto tiene una posición definida y se mueve de forma determinista, es en realidad simplemente el promedio de las posibilidades que la teoría cuántica completa predice. Si aplicamos aquí esa idea, resulta al menos cualitativamente claro desde el principio que esto nos lleva en la dirección que nos interesa, es decir, la densidad uniforme que predecían nuestras ecuaciones clásicas sería simplemente el promedio de las densidades probables según la mecánica cuántica, cuya gama de valores diferiría de un lugar a otro. El principio de incertidumbre de la mecánica cuántica haría que la densidad del universo originario fuera un poco más alta en unos lugares y más baja en otros; habría fluctuaciones, luego al final de la inflación sería de esperar que hubiera ondulaciones sobre una densidad de la materia casi uniforme.

Estas ondulaciones se pueden calcular. Confieso que todavía no sabemos suficiente sobre la física de partículas para determinar cuál sería su amplitud, la intensidad de esas ondulaciones, pero lo que sí se puede calcular es el modo como esa intensidad depende de la longitud de onda de las ondulaciones. Es decir, hay ondulaciones de todos los tamaños, y es posible medir la intensidad de todas ellas. Se puede considerar entonces lo que llamamos el espectro. Empleamos esta palabra exactamente en el mismo sentido que se utiliza para

describir las ondas acústicas. Cuando hablamos del espectro de una onda acústica nos referimos a cómo varía la intensidad según las distintas longitudes de onda que forman esa onda acústica. Aplicando esto mismo al universo primigenio, podemos hablar de cómo la intensidad de las ondulaciones de la densidad de masa del universo en sus comienzos varió atendiendo a las longitudes de onda.

Hoy día es posible ver esas ondulaciones en la radiación cósmica de fondo. El hecho en sí de poder verlas es un triunfo absoluto de la tecnología moderna. Cuando en un principio hicimos estas predicciones, allá en 1982, los astrónomos estaban simplemente empezando a ver el efecto del movimiento de la Tierra a través de la radiación de fondo, un efecto de alrededor de 1 parte en 1.000. Las ondulaciones de las que hablo son de nada más que 1 parte en 100.000, es decir sólo un 1% de la intensidad del efecto más sutil que había podido observarse cuando comenzamos a hacer nuestros cálculos. Nunca imaginé que llegaríamos a ver de hecho esas ondulaciones en el fondo cósmico; la idea de que los astrónomos conseguirían realizar sus mediciones con una exactitud cien veces mayor parecía exageradamente fantástica. Pero, para mi sorpresa y regocijo, en 1992 un satélite llamado COBE, Explorador del fondo cósmico [*Cosmic Background Explorer*], detectó esas ondulaciones. En la actualidad contamos con mediciones aún más exactas que las realizadas por este satélite, que tenían una resolución angular de aproximadamente 7 grados y nos permitían ver las ondulaciones de mayor longitud de onda. Las mediciones actuales alcanzan una fracción de grado, y en este momento empezamos a disponer de medidas muy precisas sobre las variaciones de intensidad dependiendo de la longitud de onda.

En la primavera de 2000 se anunciaron los espectaculares resultados de una serie de experimentos llamados BOOME-

RANG (acrónimo de "*Balloon Observations Of Millimetric Extragalactic Radiation And Geophysics*" ["Observaciones en globo de la radiación extragaláctica milimétrica y geofísica"] y MÁXIMA (*Millimeter Anisotropy eXperiment IMaging Array* [Experimento de imágenes matriciales de anisotropía milimétrica, cuyo fin es medir el espectro de potencia angular de las fluctuaciones de la radiación de fondo], experimentos ambos realizados con globos estratosféricos que proporcionaron sólida evidencia de que el universo es geométricamente plano, tal como predice la inflación. Al decir "plano" nos referimos a que el espacio tridimensional del universo no es curvo, como hubiera podido ser de acuerdo con la teoría de la relatividad general. En el contexto de la relatividad, la geometría euclidiana no es la norma, sino una rareza; en él, el espacio curvo es el caso genérico. Una vez aceptado el supuesto de que el universo es por término medio homogéneo (igual en todas partes) e isotrópico (igual en todas direcciones), la ausencia de curvatura está entonces directamente vinculada a la relación entre la densidad de masa del universo y su velocidad de expansión. Una gran densidad de masa haría que el espacio se curvara formando un universo cerrado, un universo con la forma de una pelota; si la densidad de masa es dominante, el universo será un espacio cerrado con un volumen finito y sin término, en el que una nave espacial que viajara en lo que, a su entender, es una línea recta acabaría, tras haber recorrido una distancia lo bastante grande, allá donde empezó. En el caso alternativo, si es la expansión lo que domina, el universo será geométricamente abierto, y este tipo de espacios tiene las propiedades geométricas opuestas a los espacios cerrados. Son infinitos. En un espacio cerrado, dos líneas paralelas empezarán poco a poco a converger; en un espacio abierto, a divergir. Tanto en un caso como en el otro, lo que vemos es muy diferente de la geometría euclidiana. Sin em-

bargo, si la densidad de masa está justamente en la frontera de estos dos casos (conocida como *densidad crítica*), la geometría es entonces euclidiana y el espacio se llama plano.

El hecho de que el universo sea al menos aproximadamente plano hoy día significa que el universo primigenio tuvo que ser extraordinariamente plano. En su evolución, el universo tiende a alejarse de la planitud, de modo que, incluso dado lo que sabíamos hace diez o veinte años, que es muchísimo menos de lo que sabemos hoy día, habríamos podido hacer una extrapolación y, al mirar atrás, descubrir por ejemplo que, un segundo después de la Gran Explosión, la densidad de masa del universo debió de ser prácticamente crítica, con una *exactitud de quince decimales*, para haber podido contrarrestar la velocidad de expansión y haber producido un universo plano. La teoría convencional del *Big Bang* no ofrece ningún mecanismo para explicar cómo llegó la densidad de masa a ser casi crítica, pero así es como debieron ser las cosas para que el universo tenga su aspecto actual. La teoría convencional del *Big Bang*, sin el complemento de la inflación, sólo es válida si se introducen en ella condiciones iniciales que actuaron en altísima sintonía para producir un universo como el que vemos. La teoría inflacionaria soslaya el problema de la llamada planitud, dado que la inflación cambia la forma en la que con el tiempo evoluciona la geometría del universo. Aunque en todos los demás períodos de su historia el universo en su evolución haya tendido siempre a apartarse de la planitud, durante el período inflacionario se vio de hecho impulsado hacia ella con increíble rapidez. Todo cuanto la inflación debió necesitar para haber llevado al universo a ese punto tan cercano a la planitud como para explicar lo que en la actualidad vemos que fueron aproximadamente 10^{-34} segundos.

El mecanismo inflacionario que impulsa al universo hacia la planitud se excede en la mayoría de los casos, ofreciéndo-

nos, no un universo que actualmente se halla cercano a la planitud, sino un universo que hoy día es *casi exactamente* plano. Ha habido diversos intentos de elaborar versiones de la inflación que eludan esto, pero tienen algo de arficioso, puesto que requieren que la inflación se detenga justo en el momento en que casi ha hecho que el universo sea plano, pero no lo ha conseguido del todo. El modelo inflacionario genérico lleva al universo hacia la planitud completa, lo cual significa que una de sus predicciones es que actualmente *la densidad de masa del universo debería hallarse en el valor crítico que hace al universo geométricamente plano*. Sin embargo, hasta hace cuatro o cinco años ningún astrónomo lo creía así. Sus respuestas eran que, si uno observaba simplemente la materia visible, encontraba en ella sólo alrededor de un 1% de lo que haría falta para que el universo fuera plano. De hecho ofrecieron más que esto, en forma de "materia oscura". La materia oscura es materia cuya existencia se infiere del efecto gravitatorio que ejerce sobre la materia visible. Sus efectos se ven, por ejemplo, en las curvas rotatorias de las galaxias. Cuando los astrónomos midieron en un principio la velocidad a la que rotan las galaxias, vieron que éstas giran a tal rapidez que, si la materia visible fuera la única materia presente, saltarían en pedazos. Esto hizo a los astrónomos suponer que en una galaxia había una enorme cantidad de materia oscura –entre cinco y diez veces la cantidad de materia visible– que mantenía unida la galaxia. Lo mismo puede aplicarse al movimiento de las galaxias dentro de un cúmulo de galaxias, pues, aunque su movimiento es mucho más aleatorio y caótico que el de una galaxia y su única espiral, podemos preguntarnos, no obstante, cuánta masa se necesita para mantener los cúmulos unidos, y la respuesta es que la cantidad de materia necesaria es aún significativamente mayor que la que se suponía que existía en las galaxias. Al sumar todo esto,

los astrónomos obtuvieron un resultado aproximadamente igual a un tercio de la densidad crítica, lo cual les permitió garantizar con plena certeza que esto era todo cuanto existía en el universo. Fue un duro golpe para el modelo inflacionario, pero muchos permanecimos fieles a él, convencidos de que tarde o temprano los astrónomos darían con algo.

Y así fue. A partir de 1998, las observaciones indicaron el asombroso hecho de que la expansión del universo parece estar acelerándose, y no a la inversa. La teoría de la relatividad general tiene en cuenta esa posibilidad; lo único que se necesita es un material con presión negativa. En este momento la mayoría de los cosmólogos están convencidos de que nuestro universo debe estar impregnado de un material con presión negativa que es la causante de la aceleración que estamos presenciando. No sabemos qué material es éste; nos referimos a él como "energía oscura". Aunque no sabemos a ciencia cierta de qué se trata, podemos emplear la relatividad general misma y a través de ella calcular cuánta masa ha de existir para que pueda producirse la aceleración observada, y esta cifra resulta ser casi exactamente igual a dos tercios de la densidad crítica, es decir, ¡justamente lo que faltaba en los cálculos previos! Suponiendo que esta energía oscura sea real, en este momento existe completo acuerdo entre lo que los astrónomos dicen que es la masa del universo y lo que predice la teoría de la inflación.

Sin embargo, en los tiempos en que se anunciaron los experimentos BOOMERANG y MAXIMA, había una notable discrepancia que preocupó a la gente, y nadie estaba seguro de cuánta importancia se le debía conceder. El espectro que se estaba midiendo era un gráfico que tenía en principio diversos picos. Estos picos tenían que ver con oscilaciones sucesivas de las ondas de densidad del universo primitivo y con un fenómeno llamado resonancia, que hace que algunas longitudes

de onda sean más intensas que otras. Las mediciones revelaron que el primer pico estaba exactamente allí donde esperábamos que estuviera y tenía la forma exacta que esperábamos. Pero no podíamos ver el segundo pico. A fin de hacer coincidir los datos con la teoría, hubimos de suponer que había alrededor de diez veces más protones en el universo de lo que habíamos imaginado, ya que esos protones suplementarios acabarían generando un efecto de fricción que podía hacer desaparecer al segundo pico. Por supuesto, en todo experimento hay un margen de incertidumbre; si el experimento se realiza repetidas veces, los resultados no serán exactamente los mismos cada vez. Así es que nos consolamos con la idea de que el segundo pico resultaba invisible por simple mala suerte. Sin embargo, la probabilidad de que el pico pudiera ser *tan* invisible si el universo contenía la densidad de protones indicada por nuestras otras mediciones estaba en un nivel del 1%, de modo que nos encontrábamos ante una seria discrepancia entre lo que se había observado y lo que era de esperar. Todo esto ha cambiado desde entonces muy positivamente gracias a la siguiente serie de resultados, producto de mediciones más precisas. Hoy día, el segundo pico no sólo es visible, sino que tiene la altura exacta que se esperaba, y todos los datos coinciden maravillosamente con las predicciones teóricas. Demasiado maravillosamente, en realidad. Estoy seguro de que, dadas las dificultades que entraña realizar este tipo de mediciones, las cosas empeorarán antes de seguir mejorando; pero en estos momentos tenemos una representación que parece confirmar la teoría inflacionaria del universo primigenio.

En la presente edad de oro de la cosmología, la teoría inflacionaria, que hace unos años estaba en serio conflicto con la observación, funciona en perfecta consonancia con nuestros cálculos de la densidad de masa y las fluctuaciones. Las pruebas que demuestran la validez, bien de esta teoría de la

que hablo, o bien de otra similar, tienen verdadero peso. Debería hacer hincapié, para terminar, en que, a pesar de que hasta ahora he utilizado en singular el término "inflación", en realidad se trata de una clase de teorías. Si el modelo inflacionario está en lo cierto, en modo alguno significaría esto el final de nuestra investigación del origen del universo; en realidad, estaríamos más bien cerca del principio. Hay muchas versiones distintas de la inflación, y el modelo cíclico que Paul Steinhardt describe en las siguientes páginas podría considerarse de hecho una versión: una versión bastante novedosa, puesto que sitúa la inflación en una era de la historia del universo completamente distinta, pero la inflación sigue actuando en muchos sentidos de idéntica manera. Muchas de las versiones de la inflación están considerablemente más próximas al trabajo que desarrollábamos en los años ochenta y noventa; por lo tanto, decir que la inflación está en lo cierto no significa en modo alguno que aquí se acabe la historia. Hay cabida para mucha flexibilidad, y mucho que aprender. Y lo que es necesario aprender implicará tanto el estudio de la cosmología como el estudio de la física de partículas subyacente en estos modelos.

EL UNIVERSO CÍCLICO

PAUL STEINHARDT

He dedicado este pasado año a desarrollar una teoría alternativa que pone la historia del cosmos patas arriba. En ella, todos los acontecimientos que han creado las características importantes de nuestro universo ocurren en distinto orden, tienen una explicación física distinta, acontecen en distintas épocas y a lo largo de distintas escalas temporales, y, sin embargo, es un modelo capaz de reproducir todas las predicciones de demostrada validez plasmadas en el modelo estándar, y de reproducirlas con el mismo exquisito detalle.

PAUL STEINHARDT ocupa la cátedra Albert Einstein de ciencias y es profesor de los Departamentos de física y astrofísica de la Universidad de Princeton. Es uno de los principales teóricos responsables de la teoría de la inflación, habiendo trabajado en la elaboración del primer modelo inflacionario viable y de la teoría de cómo la inflación podría producir semillas para la formación de galaxias. Se encontraba también entre los primeros en presentar pruebas de la energía oscura y la aceleración cósmica, introduciendo el término de "quintaesencia" para referirse a las formas dinámicas de la energía oscura. En 2002 el Centro Internacional de Física Teórica le concedió la Dirac Medal, junto a Alan Guth y Andrei Linde, por haber desarrollado el concepto de inflación en cosmología.

Si se pidiera a la mayoría de los cosmólogos que hicieran una síntesis sobre dónde nos encontramos actualmente en este campo, responderían que vivimos un período muy especial de la historia humana, en el que, gracias a los innumerables avances de la tecnología, podemos tener una visión del universo en sus primeros y más distantes momentos como nunca hasta ahora había sido posible. Podemos conseguir una instantánea del aspecto que presentaba el universo en su infancia, cuando empezaron a formarse los primeros átomos; una instantánea de su aspecto en la adolescencia, cuando em-

pezaban a formarse las primeras estrellas y galaxias. Y en este momento disponemos de detalladas imágenes tridimensionales del aspecto que presenta nuestro universo actual. Al juntar toda esta información, se obtiene una serie de rigurosísimas restricciones a cualquier modelo de evolución cósmica. Los datos que hemos recogido durante la última década han eliminado todas las teorías de evolución cósmica de los años noventa excepto una, a la que podría llamarse modelo estándar de hoy día, y que combina el modelo del *Big Bang* tal como fue desarrollado en los años veinte y treinta, la teoría inflacionaria, propuesta por Alan Guth a principios de los ochenta, y una reciente enmienda que explicaré en breve. Esta teoría de consenso se ajusta en exquisito detalle a las observaciones del universo con las que contamos en la actualidad, y por eso muchos cosmólogos han concluido que finalmente hemos logrado determinar la historia cósmica esencial del universo.

Yo tengo, sin embargo, un punto de vista ligeramente distinto, punto de vista actualmente afianzado por dos acontecimientos concretos. El primero es la reciente enmienda a la que me he referido. Quisiera explicar que esa enmienda es en realidad mucho más que eso: es una auténtica convulsión de nuestra noción entera del tiempo y de la historia cósmica. El segundo es que he dedicado este pasado año a desarrollar una teoría alternativa que pone la historia del cosmos patas arriba. En ella, todos los acontecimientos que han creado las características importantes de nuestro universo ocurren en distinto orden, tienen una explicación física distinta, acontecen en distintas épocas y a lo largo de distintas escalas temporales, y, sin embargo, es un modelo capaz de reproducir todas las predicciones de demostrada validez plasmadas en el modelo estándar, y de reproducirlas con el mismo exquisito detalle.

La diferencia clave entre esta representación y la representación consensuada estriba en la naturaleza del tiempo. El modelo estándar, o modelo de consenso, supone que el tiempo tiene un principio, al que normalmente nos referimos como *Big Bang*, la Gran Explosión. Según este modelo, por razones que aún no acabamos de entender el universo surgió de la nada y se convirtió en algo, algo lleno de materia y energía que se ha estado expandiendo y enfriando durante los pasados 13.700 millones de años. En el modelo alternativo, el universo no tiene fin. En él, el tiempo es infinito, o sea, se extiende sin fin en el pasado y sin fin en el futuro; y en cierto sentido, el espacio es infinito, es decir, nuestras tres dimensiones espaciales han sido y son infinitas a lo largo de toda la evolución del universo.

Más concretamente, este modelo propone un universo en el que la evolución es cíclica, lo que significa que el universo en su evolución pasa de períodos cálidos a períodos fríos, de períodos de densidad máxima a otros de densidad mínima, de la radiación caliente a la estructura que vemos en la actualidad, y finalmente a un universo vacío. Entonces una secuencia de acontecimientos hace que el ciclo comience otra vez: el universo vacío recibe una nueva inyección de energía, y vuelve a crearse un período de expansión y enfriamiento. Este proceso se repite periódicamente sin fin. Lo que presenciamos ahora es simplemente el último de estos ciclos hasta el momento.

La noción de un universo cíclico no es nueva; es una idea que se contemplaba ya en los comienzos de la historia documentada. Los antiguos hindúes, por ejemplo, contaban con una compleja y detallada cosmología basada en un universo cíclico. Predijeron que la duración de cada uno de estos ciclos sería de aproximadamente 8.640 millones de años. Resulta ser una predicción con tres dígitos de exactitud, lo cual es ver-

daderamente impresionante, ¡sobre todo teniendo en cuenta que no sabían nada de mecánica cuántica ni de la teoría de cuerdas! Ahora bien, discrepa del número que voy a sugerir, que es no de miles de millones de años, sino de billones.

La noción cíclica ha sido también un tema recurrente del pensamiento occidental. Edgar Allan Poe y Friedrich Nietzsche, por ejemplo, propusieron ambos un modelo cíclico del universo, y, en los comienzos de la cosmología relativista, Albert Einstein, Georges Lemaître y Richard Tolman mostraron un interés por la idea cíclica. Creo que está claro por qué ha sido siempre una idea tan atractiva: si el universo tiene un comienzo, uno se enfrenta al desafío de tener que explicar por qué comenzó y en qué condiciones lo hizo, mientras que si el universo es cíclico, eso significa que es eterno, luego no hay comienzo alguno que explicar.

Al intentar en los años veinte y treinta incorporar las ideas cíclicas a la cosmología moderna, se descubrieron varios problemas técnicos. La idea en aquellos tiempos era la de un ciclo en el que nuestro universo tridimensional pasa por períodos de expansión que tienen su origen en el *Big Bang*, para después contraerse de nuevo, produciéndose así el Gran Colapso, o *Big Crunch*. El universo luego rebota y la expansión vuelve a empezar. Uno de los problemas es que cada vez que el universo se contrae y se colapsa, su densidad y su temperatura ascienden hasta un valor infinito, y no está claro que puedan aplicarse a ello las leyes habituales de la física. El segundo problema es que cada ciclo de expansión y contracción crea una entropía a través de procesos termodinámicos naturales, que se añade a la entropía de los ciclos anteriores; por lo tanto, al principio de cada nuevo ciclo la densidad de la entropía es más elevada que en el ciclo previo. Resulta que la duración de un ciclo depende de la densidad de la entropía; si la entropía crece, el ciclo crece también, lo cual sig-

nifica que, a medida que avanzamos en el tiempo, cada ciclo se hace más largo que el precedente. El problema es que al hacer una extrapolación y remontarnos a tiempos anteriores, los ciclos se vuelven cada vez más cortos, hasta que al cabo de un tiempo finito se reducen a una duración de cero. Cómo eludir el comienzo es algo que todavía no se ha resuelto; simplemente se le ha hecho retroceder un número finito de ciclos. Si vamos a retomar la idea de un verdadero universo cíclico, hemos de solucionar estos dos problemas, y el modelo cíclico que describiré a continuación utiliza ideas nuevas para lograr precisamente eso.

Para poder evaluar por qué vale la pena tomar en consideración el modelo alternativo, es importante que tengamos una impresión más detallada de la descripción comúnmente admitida. No hay duda de que algunos aspectos de esta última presentan un atractivo, pero recientes observaciones nos han obligado a enmendar el modelo estándar y hacerlo más complicado. Así es que permítanme que empiece por mostrar una perspectiva general de ese modelo.

La teoría estándar comienza en la Gran Explosión: el universo tiene un principio. Es una suposición que se ha aceptado de forma generalizada durante los últimos cincuenta años, pero no es algo que en la actualidad pueda probarse mediante ninguna ley fundamental de la física. Es más, esa suposición implica dar también por hecho que el universo empezó con una densidad de energía inferior al valor crítico, pues, de otro modo, el universo habría dejado de expandirse y habría experimentado un nuevo colapso antes de la siguiente etapa de su evolución, la era inflacionaria. Y lo que es más aún, para alcanzar esa etapa inflacionaria debió existir alguna clase de energía que impulsara la inflación. Normalmente se acepta el supuesto de que esto fue debido a un campo escalar, el "inflatón". Ha de suponerse que, en aquellas parcelas del uni-

verso que comenzaron a menos de la densidad crítica, una fracción significativa de la energía fue almacenada en energía del inflatón, que en un momento dado se haría dominante en el universo y daría comienzo a una expansión acelerada. Todas éstas son suposiciones razonables, pero suposiciones al fin y al cabo.

Suponiendo que este conjunto de condiciones se cumpla, la energía del inflatón domina la materia y la radiación al cabo de unos instantes. La era inflacionaria empieza y la expansión del universo se acelera a ritmo frenético. La inflación provoca entonces una serie de hechos milagrosos: hace al universo homogéneo, lo hace plano, y deja tras de sí ciertas no homogeneidades, que supuestamente son las semillas de las que nacerán las galaxias. Ahora el universo está preparado para entrar en la siguiente etapa evolutiva con las condiciones apropiadas. Según el modelo inflacionario, la energía del inflatón degenera en un gas caliente de materia y radiación. Al cabo de un segundo más o menos, se forman los primeros núcleos de luz. Al cabo de varias decenas de miles de años, la materia, que se mueve lentamente, domina el universo. Es durante este período cuando se forman los átomos, el universo se hace transparente y la estructura del universo empieza a formarse (aparecen las primeras estrellas y galaxias). Hasta aquí la historia es relativamente sencilla.

Pero un reciente descubrimiento indica que hemos entrado en una nueva etapa de la evolución del universo. Algo extraño ha hecho que la expansión del universo vuelva a acelerarse. Durante los 13.700 millones de años en los que la materia y la radiación dominaron el cosmos y estaba formándose la estructura, la expansión del universo empezó a ralentizarse, porque la materia y la radiación que había en su interior ejercen una gravitación atractiva y se resisten a la expansión. Hasta hace muy poco se presumía que la materia continuaría

siendo la forma de energía dominante en el universo y que la deceleración continuaría para siempre.

Sin embargo, hemos descubierto en recientes observaciones que la expansión se está acelerando. Esto significa que la mayor parte de la energía del universo no es ni materia ni radiación, sino que otra forma de energía ha sobrepasado a éstas. A falta de un término más propio, se le ha dado el nombre de "energía oscura". A diferencia de la materia y la radiación con las que estamos familiarizados, esta nueva forma de energía tiene una presión gravitatoria repulsiva, y por eso hace que la expansión se acelere en vez de ralentizarse. En la teoría de la gravedad de Newton, toda masa tiene una fuerza gravitatoria atractiva, pero la teoría general de la relatividad de Einstein cuenta con la posibilidad de que existan formas de energía que sean gravitatoriamente autorrepulsivas.

No creo que la comunidad ni de físicos ni de cosmólogos, y ni siquiera el público en general, haya asimilado plenamente las repercusiones de este descubrimiento. Se trata de una revolución en el gran sentido histórico, en el sentido copernicano. Copérnico (de quien proviene la palabra "revolución") cambió nuestra noción del espacio y de nuestra posición en el universo. Al demostrar que la Tierra gira alrededor del Sol, desató una sucesión encadenada de ideas que nos llevaron a comprender que no ocupamos ningún lugar preferente en el universo; el lugar donde estamos situados no tiene nada de especial. No obstante, hemos descubierto algo muy extraño acerca de la naturaleza del tiempo: puede que el lugar donde vivimos no tenga nada de especial, pero el tiempo en el que vivimos *sí* lo tiene. Es un tiempo de transición naciente: de la deceleración a la aceleración; de un período en el que la materia y la radiación dominaban el universo, a otro en el que éstos han empezado rápidamente a convertirse en componentes insignificantes; de un período en el que la estructura estaba

en constante proceso de formación a escalas cada vez mayores, a otro en el que, debido a la expansión acelerada, la formación de estructura se detiene. Nos encontramos en medio de una transición entre dos etapas de la evolución del cosmos. Y al igual que la proposición de Copérnico de que la Tierra no era el centro del universo desató una sucesión encadenada de ideas que cambiaron nuestra visión de la estructura del sistema solar, y posteriormente de la estructura del universo, es muy posible que este nuevo descubrimiento de la aceleración del cosmos cambie nuestra visión de la historia cósmica.

Y con estos pensamientos sobre el modelo estándar presentes, permítanme retomar ahora la propuesta cíclica. Puesto que es cíclica, puedo empezar a discutir el ciclo en el punto que elija. Para que la explicación guarde un paralelismo, comenzaré en un punto análogo al de la Gran Explosión; lo llamaré la Explosión. Es un punto del ciclo en el que el universo alcanza su más alta temperatura y densidad. En este caso, sin embargo, a diferencia de lo que sucedía en el modelo de la *Gran* Explosión, la temperatura y densidad no divergen. Hay una temperatura máxima, finita. Es una temperatura muy alta –alrededor de 10^{20} grados Kelvin–, lo bastante alta como para hacer que átomos y núcleos se evaporen, desintegrándose en sus constituyentes fundamentales, pero no es infinita; de hecho, está bastante por debajo de la llamada escala de energía de Planck, donde son dominantes los efectos de la gravedad cuántica. La teoría comienza con una Explosión, y luego pasa directamente a una fase dominada por la radiación. En este marco no existe la inflación que veíamos en el modelo estándar. Sigue siendo necesario encontrar una explicación de por qué es plano el universo, de por qué es homogéneo; seguimos teniendo que explicar de dónde proceden las fluctuaciones que llevaron a la formación de las galaxias, pero no será un temprano estado de inflación lo que dé respuesta a estas pregun-

tas. La explicación proviene en este caso de otra etapa, de una etapa del universo cíclico distinta, y de la que pronto hablaré.

En este nuevo modelo, el universo pasa directamente a una fase dominada por la radiación, y forma la habitual profusión nuclear; acto seguido entra directamente en una fase dominada por la materia, en la que se forman los átomos, las galaxias y la estructura a gran escala; y finalmente pasa a una fase dominada por la energía oscura. En el modelo estándar, la energía oscura aparece por sorpresa, puesto que es algo que se ha de añadir a la teoría para hacerla coherente con lo que observamos; mientras que en el modelo cíclico, la energía oscura se coloca en el centro del escenario y se convierte en el actor clave que lleva al universo a la evolución cíclica. Lo primero que hace la energía oscura cuando ocupa ese papel dominante es lo que observamos en la actualidad: provoca una aceleración de la expansión cósmica. ¿Por qué es esto importante? Aunque la velocidad de aceleración es 100 órdenes de magnitud menor que la que vemos en la inflación, si se le da al universo el tiempo suficiente esta expansión de aceleración lenta consigue de hecho los mismos portentosos resultados que la expansión inflacionaria. Con el paso del tiempo, hace disminuir la densidad de la materia y radiación distribuidas en el universo, haciendo a éste cada vez más homogéneo e isotrópico; lo hace, de hecho, tan perfectamente homogéneo e isotrópico que éste se convierte en lo que esencialmente es un estado de vacío.

Hay 10^{80} o 10^{90} partículas dentro del volumen del horizonte cósmico (un radio de 13.700 millones de años luz), pero si observáramos el universo dentro de 1 billón de años, veríamos que, por término medio, las partículas se habrían dispersado hasta llegar a tal distancia que encontraríamos menos de 1 partícula dentro de ese mismo volumen. Seth Lloyd sugiere que imaginemos el universo como una computadora

en la que los bits –las partículas– disponibles para la computación son aquellas que están comprendidas en el horizonte. En un universo en proceso de aceleración, la computadora definitiva de Seth está en realidad perdiendo bits.

Al mismo tiempo que se hace homogéneo e isotrópico, el universo se hace también plano. Si había en él algún alabeo o curvatura, aunque el proceso sea lento la aceleración causada por la energía oscura hace el espacio extremadamente plano. Si la expansión acelerada continuara para siempre, ése sería por supuesto el final de la historia. Pero en este marco, exactamente lo mismo que en la inflación, la energía sobrevive sólo durante un período finito; después, desencadena una serie de acontecimientos que finalmente llevan a la transformación de la energía, que pasa de ser una energía con potencial gravitatorio a convertirse en una energía y radiación nuevas, que entonces originarán un nuevo período de expansión del universo. Esta rápida producción de materia y radiación, y la inversión asociada a ellas de un movimiento de contracción a una expansión acelerada, constituyen la siguiente explosión. Desde el punto de vista del observador local, parece ser que el universo pasa por ciclos exactos; es decir, parece que en cada vuelta se vacía y se crean una materia y radiación nuevas, y esto lleva a un nuevo período de expansión. En este sentido, es un universo cíclico.

Si uno fuera un observador global y pudiera ver la totalidad del universo infinito, descubriría que nuestras tres dimensiones son eternamente infinitas en esta historia. Lo que ocurre es que cada vez que se crean una materia y radiación nuevas, decrecen, en proporción enorme pero finita; siguen existiendo en algún lugar del cosmos, pero van decreciendo. Desde una perspectiva local, el universo es cíclico; globalmente, sin embargo, tiene una evolución uniforme, en la que la entropía total crece a un ritmo y en una proporción constantes al pasar

de un ciclo al siguiente; es decir, haciendo una extrapolación y regresando al pasado, vemos cómo el universo se contrae y la entropía decrece en proporción constante con cada ciclo. A pesar de todo, si el universo es infinito y la entropía total también lo es, entonces una disminución en proporción finita sigue dejando un volumen y una entropía infinitos. En principio, el proceso podría continuar indefinidamente.

La forma exacta y detallada como funciona esto puede describirse de varias maneras. Yo he elegido mostrar una bonita representación geográfica inspirada en la teoría de supercuerdas. Sólo vamos a utilizar unos pocos elementos básicos de esta teoría, así que no es necesario saber de qué trata para entender lo que voy a explicar, aunque sí aprovecho para decir que algunas de las extrañas nociones que me dispongo a presentar forman ya parte de la teoría de supercuerdas, a la espera de que alguien haga uso ellas.

Una de las ideas que postula la teoría de supercuerdas es que existen otras dimensiones además de las habituales; éste es un elemento esencial, necesario para que la teoría sea matemáticamente coherente. En una determinada formulación de esta teoría, el universo tiene un total de once dimensiones. Seis de ellas forman un pequeño ovillo, tan diminuto que, para mi propósito concreto, simplemente voy a hacer como que no existen. Sin embargo, hay tres dimensiones espaciales, una dimensión temporal y otra dimensión adicional que sí quiero tomar en consideración. En esta descripción, nuestras tres dimensiones espaciales están situadas a lo largo de una hipersuperficie, o membrana. Esta membrana delimita un lado de la dimensión espacial adicional, y hay otra membrana que delimita el otro lado de esa dimensión. Entre ambas, en el llamado "grueso", *bulk*, o volumen total (la suma del volumen real y del volumen vacío), está esa dimensión adicional, que, a diferencia de las tres dimensiones habituales, se extiende sólo

durante un intervalo finito. Es como si nuestro mundo tridimensional fuera una cara de un sándwich, y hubiera otro mundo tridimensional en la otra cara. Se ha llamado a estas caras *orbivariedades* o *branas* (esta última derivada de la palabra "membrana"). Las branas tienen propiedades físicas; tienen energía y momento, y, si se las excita, es posible producir quarks y electrones. Todos estamos compuestos por los quarks y leptones que hay en nuestra brana, y puesto que los quarks y leptones pueden circular solamente dentro de ella, nosotros estamos limitados a circular y a ver sólo las tres dimensiones de nuestra brana; no podemos ver directamente el *bulk*, las dimensiones adicionales, ni materia alguna de la otra brana.

En el universo cíclico, a intervalos regulares de billones de años, estas dos branas se estrellan una contra otra, y esto crea toda clase de excitaciones: partículas y radiación. La colisión, por tanto, calienta las branas, y éstas se separan de golpe otra vez.

Las branas ejercen una atracción mutua, debido a una fuerza que actúa exactamente igual que un muelle, haciéndolas unirse a intervalos regulares. En el transcurso de cada ciclo, el universo pasa por dos clases de movimiento. Cuando en él hay materia y radiación, el movimiento principal es el estiramiento de las branas (o, lo que es lo mismo, nuestras tres dimensiones se expanden). A la vez, las branas permanecen a una distancia más o menos fija una de otra. Este período se extiende a lo largo de 13.700 millones de años desde la última explosión, y el estiramiento es lo que normalmente interpretamos como la expansión del universo. Durante todo este período, separada por una distancia microscópica, hay otra brana, que existe y se expande, pero, puesto que no podemos palpar, sentir ni ver a través del grueso (de ese espacio multidimensional), no podemos percibirla directamente. Si en ella hay un montón de materia, podemos sentir su efecto gra-

vitatorio, pero no podemos ver ninguna luz ni nada similar que emita, porque lo que sea que emita circulará dentro de esa brana, y nosotros vemos sólo aquello que circula dentro de la nuestra.

A continuación, cuando la radiación y la materia pierden densidad, la energía asociada con la fuerza que hay entre estas dos branas domina el universo. Desde nuestra posición en una de las branas, vemos que esto actúa exactamente igual que la energía oscura que observamos hoy día: hace que las branas aceleren su estiramiento hasta que toda la materia y la radiación producidas desde la última colisión se han extendido por completo, y las branas son esencialmente superficies lisas, planas y vacías. Si quieren, pueden imaginarlas como espacios que, al cabo de 13.700 millones de años, están arrugados y llenos de materia, y que a continuación se estiran inmensamente durante el siguiente billón de años. El estiramiento hace que la masa y la energía de nuestra brana pierda densidad y que las arrugas se alisen. Al cabo de billones de años, las branas son, a efectos prácticos, lisas, planas, paralelas y están vacías.

Entonces la fuerza existente entre las dos branas, poco a poco las une. A medida que se acercan una a la otra, la fuerza de atracción se intensifica, y aumenta la velocidad de esa aproximación mutua. Cuando colisionan, el impacto es descomunal, suficiente para crear una alta densidad de materia y de radiación a una temperatura altísima, aunque finita. Eso hace que las branas se separen enérgicamente, retornando cada una de ellas a donde más o menos se encuentran ahora, y, una vez allí, una materia y radiación nuevas (por medio de la acción de la gravedad) hacen que las branas empiecen un nuevo período de estiramiento.

En esta descripción, está claro que el universo pasa por períodos de expansión seguidos de una curiosa clase de con-

tracción. Cuando las dos branas se unen, no son nuestras dimensiones las que se contraen, sino que es una contracción de la dimensión adicional. Antes de esa contracción, toda materia y radiación han quedado totalmente diseminadas, pero, a diferencia de lo que postulaban los modelos de los años veinte y treinta, no vuelven a unirse durante la contracción, puesto que nuestro mundo tridimensional –es decir, nuestra brana– permanece extendido al máximo; sólo la dimensión adicional se contrae. Y este proceso se repite ciclo tras ciclo.

Si comparamos el modelo cíclico con la representación estándar, dos de las funciones de la inflación –concretamente, el aplanamiento y la homogeneización del universo– se consiguen mediante un período de expansión acelerada como el que ahora acabamos de empezar. Por supuesto, este aplanamiento y esta homogeneización se produjeron mucho antes de que se formaran las actuales galaxias de nuestro universo, luego fue la expansión análoga ocurrida hace un ciclo –antes de la Explosión más reciente– la que hizo a nuestro universo homogéneo y plano. Una vez sucedido esto, continuó siendo casi homogéneo y plano mientras el universo se contraía y volvía a expandirse lleno de materia y radiación.

El tercer logro de la inflación –producir fluctuaciones de la densidad– se consigue al unirse las dos branas y contraerse la dimensión adicional. A medida que se aproximan una a la otra, las fluctuaciones cuánticas hacen que las branas empiecen a arrugarse y, debido a sus arrugas, no todos los puntos de la superficie colisionan a la vez; hay regiones que colisionan un poco antes que otras. Cuando las branas se separan, la temperatura del universo no es perfectamente homogénea sino que tiene pequeñas variaciones espaciales de temperatura y densidad como residuo de las arrugas cuánticas.

Lo asombroso es que, a pesar de que en el modelo cíclico los procesos físicos causantes de las fluctuaciones difieren por

completo, en cuanto a cualidad física y escala temporal, de los que operan en el modelo inflacionario –necesitando miles de millones de años los primeros, en lugar de 10^{-30} segundos–, resulta que el espectro de las fluctuaciones en la distribución de energía y temperatura generadas en los dos modelos cosmológicos es esencialmente el mismo. Así pues, el modelo cíclico también está en exquisita concordancia con las mediciones de temperatura y de distribución de la materia que tenemos en la actualidad.*

El proceso físico que genera las fluctuaciones en los dos modelos tiene como resultado una sutil pero importante distinción, que puede ser comprobada en posteriores experimentos. En la inflación, las fluctuaciones del espaciotiempo mismo, llamadas ondas gravitatorias, se crean en adición a las fluctuaciones de energía y temperatura, característica que esperamos poder buscar en los experimentos de las próximas décadas como verificación del modelo estándar. En el modelo cíclico no existen esas ondas gravitatorias. La diferencia esencial es que las fluctuaciones inflacionarias son creadas en un violento y vertiginoso proceso, lo bastante potente como para originar ondas gravitatorias, mientras que las fluctuaciones cíclicas son creadas en un proceso suave y extremadamente lento que es demasiado débil para generarlas. Se trata

* El 11 de febrero de 2003, el equipo del satélite WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe o Sonda Wilkinson de Anisotropías del Fondo de Microondas) dio a conocer sus hallazgos, mostrando una imagen enormemente precisa de la distribución de temperatura y energía en los comienzos del universo. El equipo destacó la semejanza existente entre ésta y el modelo estándar del *Big Bang* y la Inflación, anunciando que los modelos inflacionarios más simples quedan en este momento descartados. No se ha puesto el mismo énfasis en mencionar el hecho de que los más simples modelos cíclicos son coherentes con los resultados obtenidos por el equipo. Aún es pronto para llegar a ninguna conclusión definitiva acerca de esos resultados, pero parecen insinuar que nos encontramos en el umbral de unas observaciones críticas que tal vez nos permitan distinguir entre dos posibles panoramas.

de un ejemplo en el que uno y otro modelo ofrecen una predicción drásticamente distinta basándose en sus respectivas observaciones. La señal de las ondas gravitatorias es demasiado difícil de observar en el presente, pero quizá los experimentos de la próxima década sean lo bastante sensibles como para detectarla.

Lo fascinante en este momento es que disponemos de dos paradigmas, que por una parte son polos opuestos, en cuanto a lo que nos explican sobre la naturaleza del tiempo, sobre nuestra historia cósmica, el orden en el que ocurren los acontecimientos y la escala temporal en la que ocurren, y por otra, son asombrosamente parecidos en cuanto a lo que predicen sobre el universo actual. Lo que finalmente decidirá entre uno y otro es una combinación de observación (la búsqueda, por ejemplo, de ondas gravitatorias cósmicas) y teoría; porque un aspecto clave del modelo cíclico implica suposiciones sobre lo que sucede cuando colisionan las branas, y estas suposiciones podrían ser probadas o refutadas en la teoría de supercuerdas. Mientras tanto, durante los próximos años podemos disfrutar mucho especulando sobre las implicaciones de cada una de estas series de ideas: descubriendo cuál preferimos y en qué estriba detalladamente la diferencia entre ellas.

TEORÍAS DE LA BRANA

LISA RANDALL

La idea de que existan dimensiones adicionales del espacio puede parecer en un principio absurda, descabellada, pero tenemos poderosas razones para creer que de verdad existen otras dimensiones espaciales. Una razón se basa en la teoría de cuerdas, donde se postula que las partículas no son en sí mismas fundamentales, sino que son modos oscilatorios de una cuerda fundamental.

LISA RANDALL es profesora de física en la Universidad de Harvard, donde también obtuvo su doctorado en 1987. Entre los años 1998 y 2000 ocupó una cátedra conjuntamente en Princeton y en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, y en 2001 ingresó como catedrática en Harvard. Sus investigaciones en el campo de la física teórica de alta energía están principalmente relacionadas con la exploración de la física subyacente al modelo estándar de la física de partículas. Esto la ha llevado a estudiar la supersimetría y, más recientemente, las dimensiones adicionales del espacio.

La física de partículas nos ha ayudado a entender multitud de fenómenos: desde el funcionamiento interno del protón hasta la evolución del universo que observamos. Sin embargo, las cuestiones fundamentales siguen siendo un misterio, y eso nos lleva a especular, en un intento de trascender los límites de lo conocido. Entre esos misterios se encuentran las desconcertantes masas de partículas elementales, la naturaleza de la materia oscura y la energía oscura que constituyen el grueso del universo, y qué predicciones hace la teoría de cuerdas –la mejor candidata a una teoría que abarque a la vez la mecánica cuántica y la relatividad general– sobre el mundo observado. Son este tipo de cuestiones (además de una curiosidad básica) las que han motivado mis incursiones en teorías que quizá constituyan la base del conocimiento ac-

tualmente establecido. Una parte de mi trabajo más reciente ha estado dedicado a la física de las dimensiones adicionales del espacio, y los resultados obtenidos han superado con mucho cualquier expectativa.

La física de partículas da respuesta a preguntas relacionadas con las fuerzas conocidas: la fuerza electromagnética, las interacciones débiles asociadas con la desintegración nuclear, y la interacción fuerte que une a los quarks dando lugar a protones y neutrones; pero aún nos falta por comprender cómo encaja la gravedad en todo ello. Aunque la teoría de cuerdas es la aspirante que va en cabeza, todavía no sabemos cómo reproduce esta teoría todas las partículas y leyes físicas que vemos en la realidad. ¿Cómo pasamos de esta original y hermosa teoría, con sus diez dimensiones, al mundo que nos rodea, que tiene sólo cuatro (tres dimensiones espaciales más el tiempo)? ¿Adónde han ido a parar las restantes partículas y dimensiones de la teoría de cuerdas?

A veces una manera fructífera de abordar los grandes problemas aparentemente irresolubles es formular preguntas cuyas posibles respuestas estén sujetas a la experimentación, y éstas son generalmente preguntas referentes a leyes y procesos físicos que ya conocemos; entonces, cualquier nueva percepción directa y sustancial repercutirá, casi con absoluta certeza, en cuestiones aún más fundamentales. Por ejemplo, todavía no sabemos qué da origen a las masas de las partículas fundamentales –los quarks, leptones (el electrón, entre ellos), y los electrodébiles bosones de gauge– o por qué son estas masas mucho menores que la masa relacionada con la gravedad cuántica. Y la diferencia entre ellas no es poca: sus escalas de masa están separadas por nada menos que ¡dieciséis órdenes de magnitud! Sólo las teorías que explican esta asombrosa proporción son posibles candidatas a teoría esencial del modelo estándar. Aún no sabemos cuál es esa teoría, pero gran parte de

las presentes investigaciones de la física de partículas, incluida la de las dimensiones adicionales del espacio, intenta descubrirlo. Pronto todas estas especulaciones podrán explorarse en el Gran Colisionador de Hadrones, o LHC (*Large Hadron Collider*), que está construyéndose en Ginebra, y que alcanzará energías TeV relevantes para la física de partículas. Los resultados de los experimentos que allí se realicen deberían seleccionar de un modo concreto e inmediato cuál es, de entre las diversas propuestas, la descripción física subyacente. Si la teoría subyacente resulta ser, bien la supersimetría, o bien una de las teorías sobre dimensiones adicionales que describiré a continuación, la repercusión que eso tendrá en nuestra concepción del universo será de gran trascendencia.

En estos momentos estoy investigando la física de la escala TeV. Los físicos de partículas utilizan los electronvoltios como unidades de medida de la energía, y TeV significa un billón de electronvoltios. Se trata de una energía muy elevada y que desafía los límites de la tecnología actual, pero es una energía baja desde la perspectiva de la gravedad cuántica, cuyas consecuencias sólo es probable que aparezcan a energías dieciséis órdenes de magnitud más altas. Es una escala de energía interesante porque sabemos que la parte aún no descubierta de la teoría, y que guarda relación con la capacidad de dar a las partículas elementales sus respectivas masas, debería encontrarse aquí.

Dos de las posibles explicaciones de esta inmensa disparidad entre las escalas de energía son la supersimetría y la física de dimensiones adicionales. Hasta hace muy poco, la supersimetría se consideraba la única forma de explicar la física en la escala TeV. Se trata de una simetría que relaciona las propiedades de los bosones con las de sus compañeros los fermiones (siendo bosones y fermiones dos tipos de partículas que distingue la mecánica cuántica). Los bosones tienen un espín

(o giro) entero, y los fermiones un espín semi-entero, siendo el espín un número cuántico interno. Sin supersimetría, sería de esperar que estos dos tipos de partículas no guardaran relación entre sí; pero gracias a la supersimetría, propiedades como la masa y la fuerza de interacción entre una partícula y su compañera supersimétrica están estrechamente alineadas. Esto significaría, por ejemplo, que a cada electrón le correspondería una superpartícula (llamada selectrón, en este caso) con la misma masa y carga. Se tenía y se tiene la gran esperanza de que encontraremos signaturas de supersimetría en la próxima generación de colisionadores. Descubrir la supersimetría sería un fantástico logro; sería la primera extensión de simetrías asociadas con el espacio y el tiempo desde que Einstein construyó su teoría de la relatividad general a comienzos del siglo XX. Y si la supersimetría está en lo cierto, es probable que resuelva además otros misterios, tales como la existencia de materia oscura. Las teorías de cuerdas que tienen el potencial de abarcar el modelo estándar parecen necesitar de la supersimetría, luego la búsqueda de ésta es algo importante también para los teóricos de cuerdas. Tanto por estas razones teóricas como por su potencial aptitud para la verificación experimental, la supersimetría es una teoría apasionante.

Sin embargo, como ocurre con muchas otras teorías, aunque la supersimetría es admirable en el nivel abstracto, deja muchas cuestiones sin resolver cuando nos centramos en los detalles concretos de cómo se conecta con el mundo que vemos realmente. A determinado nivel de energía, es obvio que esa simetría se rompe, puesto que no hemos visto todavía ningún "supercompañero", y esto significa que las dos partículas asociadas –por ejemplo, el electrón y el selectrón– no pueden tener exactamente la misma masa, ya que, si así fuera, veríamos las dos. La partícula asociada y no visible debe tener, por tanto, una masa mayor, si hasta el momento no se ha podido

detectar. Queremos saber cómo es posible que esto ocurra de un modo coherente con todas las propiedades conocidas de las partículas fundamentales. El problema que esto representa para la mayor parte de las teorías a la hora de tener en cuenta esa ruptura de la supersimetría, es que todas las predicciones sobre una diversidad de interacciones y desintegraciones quedan invalidadas ante la evidencia de los experimentos; de entre ellas, las que más se acercan a explicar esta ruptura de la simetría permiten que varias clases de quarks se entremezclen, perdiendo así las partículas su identidad definida. La necesidad de que esta mezcla esté ausente y de que los diversos quarks retengan sus identidades es una rígida limitación del contenido de la física teórica asociada con la ruptura de la supersimetría, y es una importante razón de que en general no se acoja con plena satisfacción la supersimetría como explicación de la escala TeV. El dar con una teoría de la supersimetría que sea coherente exige introducir una física que confiera masas a las compañeras supersimétricas de todas las partículas que sabemos que existen, sin introducir interacciones no deseables. Por consiguiente, es razonable buscar otras teorías que tal vez puedan explicar por qué las masas de partículas están asociadas con la escala de energía TeV, y no con una que sea dieciséis órdenes de magnitud más elevada.

Hubo un entusiasmo desbordante cuando en principio se sugirió que las dimensiones adicionales ofrecían maneras alternativas de abordar el origen de la escala de energía TeV. La idea de que existan dimensiones adicionales del espacio puede parecer en un principio absurda, descabellada, pero tenemos poderosas razones para creer que de verdad existen otras dimensiones espaciales. Una razón se basa en la teoría de cuerdas, donde se postula que las partículas no son en sí mismas fundamentales, sino que son modos oscilatorios de una cuerda fundamental. El haber podido incorporar de una forma co-

herente la gravedad cuántica es la mayor victoria de la teoría de cuerdas; pero esta teoría necesita además nueve dimensiones espaciales, lo cual, en el universo que observamos, se diría que son seis dimensiones de más. La cuestión de qué ocurrió con esas otras seis dimensiones es un tema importante en la teoría de cuerdas. Ahora bien, si lo abordamos desde el punto de vista de los interrogantes que plantea la energía relativamente baja, también podemos preguntarnos si las dimensiones adicionales podrían tener importantes consecuencias para nuestra física de partículas observables o para la física de partículas que deberían poderse observar en un futuro próximo. ¿Pueden esas dimensiones adicionales ayudar a responder a algunas de las cuestiones no resueltas de la física de partículas tridimensional?

Muchos contemplaban ya la idea de las dimensiones adicionales antes de que apareciera la teoría de cuerdas, aunque sus especulaciones fueron pronto olvidadas o ignoradas. Es natural preguntar qué sucedería si hubiera diferentes dimensiones del espacio; después de todo, el hecho de que sólo veamos tres dimensiones espaciales no necesariamente significa que existan sólo tres, y la teoría de la relatividad general de Einstein no da preferencia a un universo tridimensional. Podría haber en el universo multitud de ingredientes nunca vistos; sin embargo, en un principio se creyó que, de existir dimensiones adicionales, deberían ser muy pequeñas para no haberlas advertido. La suposición general en la teoría de cuerdas era que esas dimensiones estaban enrolladas en pequeños espacios de escalas increíblemente diminutas: 10^{-33} centímetros, la llamada longitud de Planck, escala directamente relacionada con que los efectos cuánticos adquieran relevancia. En ese sentido, esta escala es la candidata obvia: si hay dimensiones adicionales, que evidentemente son importantes para la estructura gravitatoria, estarían caracterizadas por esta particular escala de dis-

tancias. Claro que, si esto fuera así, tendría muy poca trascendencia para nuestro mundo, ya que esas dimensiones no alterarían lo más mínimo nada de lo que vemos o experimentamos.

No obstante, desde un punto de vista experimental cabe preguntar si las dimensiones adicionales tendrían que ser de verdad tan ridículamente pequeñas. ¿Cómo de grandes podrían ser, aun considerando que nos hayan pasado inadvertidas? Sin introducir nuevas suposiciones, resulta que esas dimensiones podrían ser alrededor de diecisiete órdenes de magnitud mayores que 10^{-33}. Para entender éste límite es necesaria una comprensión más detallada de las consecuencias que esas dimensiones tienen para la física de partículas.

Si hay dimensiones adicionales, los mensajeros que potencialmente anuncian su existencia son partículas conocidas como modos Kaluza-Klein. Estas partículas KK tienen las mismas cargas que las partículas que conocemos, pero tienen momento en las otras dimensiones, lo que significa que, a nuestros ojos, parecerían partículas pesadas, con un espectro de masa característico determinado por el tamaño y la forma de esas otras dimensiones. Cada partícula que conocemos tendría estas compañeras KK, y sería de esperar que pudiéramos encontrarlas si las dimensiones adicionales fueran grandes. El hecho de que hasta el momento no hayamos visto las partículas KK en los regímenes de energía que hemos explorado en nuestros experimentos pone un límite al tamaño de esas otras dimensiones. Como ya he mencionado, la escala de energía TeV de 10^{-16} centímetros se ha explorado experimentalmente. Puesto que no hemos detectado aún modos KK, y 10^{-16} centímetros significaría partículas KK de aproximadamente 1 TeV de masa, esto quiere decir que las posibles dimensiones adicionales podrían tener cualquier tamaño de hasta 10^{-16}. Es un tamaño significativamente mayor que 10^{-33} centímetros, pero demasiado pequeño aún para ser significativo.

Así estaban las cosas en el mundo de las dimensiones adicionales hasta hace muy poco. Se pensaba que quizá esas otras dimensiones estuvieran presentes, pero que serían extremadamente pequeñas. Sin embargo, nuestras expectativas cambiaron drásticamente cuando en 1995 Joe Polchinsky, de la Universidad de California en Santa Bárbara, y otros teóricos reconocieron la importancia que tenían para la teoría de cuerdas ciertos objetos adicionales llamados "branas". Las branas son esencialmente membranas, objetos de un número mínimo de dimensiones en un espacio multidimensional (para tener una imagen de ellas, imaginemos una cortina de ducha: a efectos prácticos, un objeto de dos dimensiones dentro de un espacio de tres). Algo que hace especiales a las branas, sobre todo en el contexto de la teoría de cuerdas, es que disponen de un mecanismo natural que confina a las partículas a esa brana; así pues, no todo se extiende necesariamente a las dimensiones adicionales aunque esas dimensiones existan. Las partículas confinadas a la brana tendrán momento y se desplazarán sólo dentro del marco de la brana, igual que las gotas de agua sobre la superficie de la cortina de ducha.

Las branas abren un campo de posibilidades totalmente nuevas en la física de las dimensiones adicionales, porque las partículas confinadas a la brana presentarían más o menos el mismo aspecto que en un mundo de tres dimensiones más una; nunca exceden los límites de la brana. Los protones, electrones, quarks y todo tipo de partículas fundamentales podrían estar obligados a permanecer en la brana, y, en ese caso, cabría preguntarse por qué nos importa lo más mínimo si existen otras dimensiones, pues, aunque existan, las partículas que constituyen nuestro mundo no penetran en ellas. Sin embargo, a pesar de que todas las partículas estándar que conocemos estén obligadas a permanecer en la brana, no puede decirse lo mismo de la gravedad. Los mecanismos destinados a

confinar las partículas y fuerzas a la brana por medio del fotón o del protón electrogauge no actúan sobre la gravedad, ya que ésta, según la teoría de la relatividad general, debe existir necesariamente en la plena geometría del espacio. Es más, una teoría gravitatoria coherente exige que el gravitón, la partícula que actúa de mediadora en la gravedad, se asocie con cualquier fuente de energía, ya esté esa fuente confinada a la brana o no. Por lo tanto, el gravitón tendría que encontrarse también en algún lugar del espacio externo abarcando la plena geometría multidimensional –un espacio conocido como el "grueso", *"bulk"*– porque podría ser que allí hubiera fuentes de energía. Y por último, la teoría de cuerdas tiene una explicación de por qué no está constreñido el gravitón a ninguna brana, y es que el gravitón está relacionado con la cuerda cerrada, y sólo pueden anclarse en una brana las cuerdas abiertas.

Un marco en el que hay partículas confinadas a una brana y sólo la gravedad es sensible a las dimensiones adicionales permite que esas otras dimensiones sean considerablemente mayores de lo que antes se pensaba. La razón es que la gravedad se ha examinado muchísimo menos que cualquier otra fuerza, y si sólo la gravedad experimenta otras dimensiones, las condiciones son mucho más permisivas. No hemos estudiado la gravedad con el detalle con que hemos estudiado la mayoría de las partículas, debido a que es una fuerza extremadamente débil y, por consiguiente, más difícil de examinar con precisión. Los físicos han descubierto que estarían permitidas incluso dimensiones de casi 1 milímetro si sólo la gravedad se encontrara en el grueso multidimensional. Se trata de un tamaño inmenso comparado con las escalas a las que nos hemos referido anteriormente: ¡un tamaño macroscópico, visible! Desgraciadamente, a causa de que los fotones (con los que vemos) también están anclados en la brana, no nos sería po-

sible ver esas dimensiones, al menos no de las formas convencionales.

Una vez que las branas están incluidas en el contexto, podemos empezar a hablar de dimensiones adicionales de colosales proporciones; y el que esas dimensiones fueran muy grandes podría explicar por qué la gravedad es tan débil. (Quizá no les parezca a ustedes que la gravedad sea débil, pero hemos de tener en cuenta que es la tierra entera la que tira de nosotros; cuando asociamos un gravitón individual con una partícula individual, el efecto es muy pequeño. Desde el punto de vista de la física de partículas, que estudia las interacciones de partículas individuales, la gravedad es una fuerza extremadamente débil.) Esta debilidad es una reformulación del llamado problema jerárquico, es decir, por qué la enorme masa de Planck que reprime las interacciones gravitatorias es dieciséis órdenes de magnitud mayor que la masa asociada con las partículas que vemos. Ahora bien, si la gravedad se extendiera a otras dimensiones vastísimas, su fuerza evidentemente se diluiría; el campo gravitatorio se expandiría, traspasando esas dimensiones, y por consiguiente sería muy débil en la brana, idea que recientemente han propuesto los teóricos Nima Arkani-Hamed, Savas Dimopoulos, y Gia Dvali. El problema de esta proposición es la dificultad de explicar por qué habrían de ser tan grandes esas dimensiones. El anterior problema de la gran proporción de masas se transmuta ahora en el problema del gran tamaño de las dimensiones ovilladas.

En el trabajo realizado junto con Raman Sundrum –actualmente investigador en la Universidad Johns Hopkins– consideramos que una explicación más natural de la debilidad gravitatoria podría ser el resultado directo de la atracción gravitatoria asociada con la brana misma. Además de aprisionar partículas, las branas son portadoras de energía. Raman y yo

planteamos que, desde la perspectiva de la relatividad general, esto significa que la brana curva el espacio que la rodea, cambiando la gravedad colindante. Cuando la energía del espacio está íntimamente relacionada con la energía de la brana, haciendo posible que una brana extensa, plana tridimensional, exista en un espacio con mayor número de dimensiones, el gravitón (la partícula que comunica la fuerza gravitatoria) es intensamente atraído por la brana y, en lugar de expandirse a otra dimensión de manera uniforme, la gravedad se queda localizada, muy cerca de la brana.

La alta concentración del gravitón en las proximidades de la brana –vamos a llamar a la brana en la que está radicada la gravedad "brana de Planck"– nos permite encontrar una solución natural al problema de jerarquías en un universo con dos branas. En la geometría particular que resuelve las ecuaciones de Einstein, a medida que nos adentramos en una dimensión adicional vemos una exponencial represión de la fuerza gravitatoria. Es un hecho importante, pues significa que una gran separación de escalas de masa –dieciséis órdenes de magnitud– puede tener como resultado una separación relativamente pequeña entre las branas. Si vivimos en la segunda brana (que no es la brana de Planck), veremos que la gravedad es muy débil. Salvar una distancia tan moderada como la que hay entre las branas no es difícil, y esa distancia es muchos órdenes de magnitud más pequeña que la que exigía el marco de las grandes dimensiones adicionales que acabamos de exponer. Un gravitón radicado más una segunda brana, separada de la brana que sirve de modelo estándar a la física de partículas, ofrecen una solución natural al problema de las jerarquías, o sea, a la pregunta de por qué es la gravedad tan increíblemente débil. La fuerza de la gravedad depende de la posición; a medida que nos alejamos de la brana de Planck, va disminuyendo exponencialmente.

Esta teoría tiene implicaciones experimentales interesantísimas, puesto que es aplicable a una escala de la física de partículas, concretamente, a la escala TeV. En la geometría altamente curvada de esta teoría, a las partículas Kaluza-Klein –aquellas partículas que tienen momento en otras dimensiones– les correspondería una masa de aproximadamente 1 TeV, y esto significa que existe una verdadera posibilidad de producirlas en colisionadores en un futuro cercano. Serían creadas como cualquier otra partícula, y se desintegrarían de modo muy parecido. Los experimentos podrían entonces estudiar los productos de su desintegración y reconstruir su masa y espín, que es su propiedad distintiva. El gravitón es la única partícula conocida que tiene un espín 2, y las numerosas partículas Kaluza-Klein asociadas con el gravitón tendrían igualmente un espín 2, lo que permitiría identificarlas de inmediato. La observación de estas partículas sería una prueba decisiva de la existencia de dimensiones adicionales y confirmaría que esta teoría está en lo cierto.

Aun siendo tan alentadora esta explicación de la existencia de muy distintas escalas de masa, Raman y yo descubrimos algo quizá todavía más sorprendente. La idea convencional era que esas otras dimensiones debían estar enrolladas o limitadas entre dos branas, ya que de no ser así veríamos una gravedad de mayor número de dimensiones. La segunda brana que antes he mencionado parecía cumplir dos funciones: explicaba el problema de la jerarquía por la pequeña posibilidad que existía de que el gravitón se encontrara allí, y era también responsable de limitar las otras dimensiones de modo que a grandes distancias (mayores que el tamaño de la dimensión) sólo es posible ver tres dimensiones.

El hecho de que el gravitón esté concentrado cerca de la brana de Planck puede tener, sin embargo, un significado enteramente distinto. Si nos olvidamos del problema jerárquico

por el momento, ¡la segunda brana es innecesaria! O sea, incluso si existiera una dimensión adicional infinita y nosotros viviéramos en la brana de Planck dentro de esa dimensión infinita, no lo sabríamos. En esta "geometría combada" –tal como se conoce al espacio con un gravitón de amplitud exponencialmente menguante– veríamos las cosas como si esta dimensión no existiera y el mundo fuera solamente tridimensional.

Considerando que el gravitón tiene tan pocas posibilidades de estar situado lejos de la brana de Planck, cualquier cosa que se aleje de ella debería ser irrelevante para la física que actúa en ella o cerca de ella. La física que actúa lejos de ella es, de hecho, tan completamente irrelevante que la dimensión adicional puede ser infinita, sin que esto suponga el menor problema desde un punto de mira tridimensional. Dado que el gravitón hace sólo ocasionales excursiones al grueso, no se precisa una segunda brana o una dimensión enrollada para elaborar una teoría que describa nuestro mundo tridimensional, como antes se pensaba. Podríamos vivir en la brana de Planck y abordar el problema de jerarquías de alguna otra manera; o podríamos vivir en una segunda brana en medio del grueso, pero esta brana no sería el límite del espacio ahora infinito. No importa si el gravitón ocasionalmente escapa de la brana de Planck; está tan intensamente radicado en ella que la brana de Planck, en esencia, imita un mundo de tres dimensiones, como si ninguna otra dimensión existiera en absoluto. Un mundo de cuatro dimensiones espaciales, por ejemplo, sería en apariencia casi idéntico a uno de tres. Por lo tanto, todas las pruebas que tenemos referentes a las tres dimensiones espaciales podrían ser igualmente pruebas para una teoría en la que haya cuatro dimensiones espaciales de extensión infinita.

Es un juego maravilloso pero frustrante. Solíamos pensar que lo más fácil de resolver serían las dimensiones adiciona-

les de gran tamaño, considerando que estarían asociadas con bajas energías, a las que se puede acceder de forma más directa. Ahora, sin embargo, debido a la curvatura del espacio, hay una teoría que propone la posibilidad de una cuarta dimensión espacial con una configuración que reproduce con tal fidelidad las tres dimensiones que, como resultado, uno y otro mundo son prácticamente imposibles de distinguir.

Si hay diferencias, serán sutiles. Tal vez los agujeros negros se comporten en un mundo y el otro de distinta manera; teniendo en cuenta que la energía puede escapar de la brana, quizá cuando un agujero negro se desintegra lance partículas a otra dimensión y su desintegración sea por tanto mucho más rápida. Los físicos están realizando en estos momentos interesantes investigaciones sobre el aspecto que tendrían los agujeros negros si esta teoría de las dimensiones adicionales, con un gravitón intensamente concentrado en la brana, está en lo cierto; no obstante, las primeras indagaciones sugieren que los agujeros negros, como todo lo demás, tendría una apariencia demasiado parecida como para poder distinguir la teoría de cuatro dimensiones de la de tres. La existencia de otras dimensiones abre un enorme número de posibilidades en cuanto a la estructura general del espacio. Son posibles diferentes números de dimensiones, y podría haber números arbitrarios de branas contenidos en ellas. Las branas ni siquiera han de tener todas forzosamente tres dimensiones más una; quizá haya otras dimensiones de branas además de aquellas que se parecen a las nuestras y que son paralelas a ellas. Esto plantea una importante pregunta sobre la estructura global del espacio, ya que la evolución de éste en el tiempo sería distinta en un contexto caracterizado por la presencia de numerosas branas. Es posible que haya toda clase de fuerzas y partículas desconocidas para nosotros que se encuentren concentradas en las branas y que pueden afectar a la cosmología.

En los ejemplos arriba mencionados, las características físicas son, allá donde se mire –tanto en la brana como en el grueso–, *aparentemente* tridimensionales. Incluso a cierta distancia de la brana de Planck, la física parece tridimensional, si bien es cierto que el acoplamiento gravitatorio es más débil. En las investigaciones realizadas con Andreas Karch (que actualmente trabaja en la Universidad de Washington), descubrí una posibilidad todavía más asombrosa: no sólo puede existir una dimensión adicional infinita, sino que las propiedades físicas en distantes ubicaciones pueden reflejar distinta dimensionalidad. La gravedad está ubicada cerca de nosotros, y, debido a ello, sólo la región cercana a nosotros parece tridimensional, mientras que las regiones muy alejadas reflejan un espacio con mayor número de dimensiones. Es posible que el hecho de que veamos tres dimensiones no se deba a que realmente sólo existen tres dimensiones, sino a que estamos anclados en esta brana y la gravedad está concentrada cerca de ella, mientras el espacio circundante ignora la existencia de nuestra isla, caracterizada por su número de dimensiones mucho menor. También es posible que la materia sea capaz de entrar y salir de esta aislada región cuatridimensional, dando la impresión de que aparece y desaparece cada vez que aborda o abandona nuestro ámbito. Hay fenómenos que en la práctica resultan muy difíciles de detectar, pero teóricamente surge todo tipo de interesantes preguntas sobre cómo encajan las diversas piezas de este constructo.

La respuesta a si estas teorías están en lo cierto no necesariamente ha de hallarse en la experimentación, sino que éstas pueden ser validadas teóricamente, siempre que una o varias de ellas concuerden con una teoría más fundamental. Hemos utilizado los elementos básicos que se hallan en la teoría de cuerdas –concretamente la existencia de branas y de otras dimensiones–, pero realmente nos gustaría saber si existe de verdad

tal estructura como la brana. ¿Es posible tomar las branas específicas en sí, tal como las plantea la teoría de cuerdas, y construir un universo con una brana en la que esté radicada la gravedad? Si esto es algo que realmente puede derivarse de la teoría de cuerdas o de otra teoría más fundamental es importante. El hecho de que todavía no se haya puesto en práctica no es prueba de que no sea verdad, y Andreas y yo hemos progresado mucho en ubicar nuestro modelo dentro de la teoría de cuerdas. De todos modos, puede ser terriblemente arduo resolver estos complicados sistemas geométricos. En general, los problemas que se resuelven, aunque parecen muy complicados, son en muchos sentidos problemas sencillos. Queda aún mucho trabajo por hacer; hay fascinantes descubrimientos a la espera, que influirán sin duda en otros campos.

En el campo de la cosmología, por ejemplo. El mecanismo propuesto por Alan Guth, que mediante una expansión exponencial alisa el universo, es de una gran coherencia; pero Paul Steinhardt ha propuesto otra posibilidad: un universo cíclico, en el que una expansión exponencial mucho menor ocurre repetidas veces. Una teoría como ésta suscita muchas preguntas; en primer lugar: ¿es realmente coherente con lo que vemos? Aún no se sabe a ciencia cierta. ¿Emplea un mecanismo verdaderamente nuevo? En cierto sentido, la idea cíclica sigue haciendo uso de la inflación para allanar el universo. A veces nos lanzamos con demasiada facilidad a crear teorías. ¿Qué fundamento tienen las teorías que uno propone? ¿Qué condiciones cumplen? ¿Qué restricciones acepta uno, a fin de no aventurar cualquier cosa que se le ocurra? ¿Es realmente nuevo el mecanismo que proponemos? ¿Está conectado con alguna otra idea teórica más fundamental? ¿Aporta algo a esa idea? Recientemente he estado explorando las repercusiones que la existencia de otras dimensiones podría tener en la cosmología. Parece ser que con esas dimensiones adicionales la

inflación tiene aún mayor solidez que sin ellas. Lo que es tan admirable de esta teoría es que uno puede calcular de modo fiable el efecto de la dimensión adicional; no es necesario hacer ninguna suposición sobre la marcha. Y lo que es más, la teoría tiene claras implicaciones para los experimentos cosmológicos. Desde el primer momento, he puesto el énfasis en lo que realmente vemos; tengo la esperanza de que el tiempo y los experimentos sabrán distinguir entre las posibilidades.

GRAVEDAD CUÁNTICA DE BUCLES

LEE SMOLIN

Fue a partir de mediados de los ochenta cuando se empezó a avanzar de verdad en la unificación de estas dos teorías. El punto decisivo fue la invención, no de uno, sino de dos enfoques: la gravedad cuántica de bucles y la teoría de cuerdas. Desde entonces, ambos han progresado a ritmo uniforme; en ambos casos, somos capaces de hacer cálculos que predicen nuevos fenómenos sorprendentes. Aun así, nos falta mucho; ni uno ni otro han tomado aún forma definitiva; todavía nos quedan cuestiones por comprender. Pero lo auténticamente importante es que ahora tenemos una verdadera oportunidad de hacer experimentos que pondrán a prueba las nuevas predicciones de estas teorías.

Esto es importante, ya que nos encontramos en la incómoda situación de contar con dos candidatas a la teoría cuántica de la gravedad bien desarrolladas, y es necesario reducirlas a una sola. Podemos hacerlo, bien probando que una está equivocada y la otra está en lo cierto, o bien probando que una y otra teoría pueden unificarse.

LEE SMOLIN, físico teórico, se dedica al estudio de la gravedad cuántica, «nombre que damos a la teoría que unifica toda la física sobre la que se está trabajando en estos momentos». Más concretamente, es coinventor de un enfoque llamado gravedad cuántica de bucles. En 2001 fue cofundador del Perimeter Institute de física teórica, en Waterloo, Ontario, del que es miembro e investigador. Smolin es autor de *The Life of the Cosmos* y *Three Roads to Quantum Gravity*.

Hace algunos años tuve la oportunidad de ingresar en el Imperial College de Londres con la posibilidad de poner en marcha un grupo de investigación. Llevaba ya un tiempo allí cuando un día se presentó un hombre y me dijo: «Vengo en representación de unas personas a las que les gustaría fundar un instituto de física teórica. Quieren que el centro se dedique a la investigación de cuestiones fundamentales relacionadas con campos como la gravedad cuántica, la teoría de cuerdas, la cosmología y la mecánica cuántica, y disponen al menos de 100 millones de dólares. ¿Qué haría usted? ¿Qué campos incluiría? ¿Cómo podría estructurarse? ¿A quién sería interesante contratar? ¿Habría necesidad de un director? ¿Elegiría usted a alguien reconocido y con experiencia y dejaría completamente en sus manos la estructuración, o reuniría a un grupo de gente joven recién licenciada y dejaría que ellos se hicieran cargo de todo, basándose en un modelo empresarial de alta tecnología?». Conversamos

sobre ello, y el hombre habló también con diversos investigadores más de estos campos de la ciencia: Fotini Markopoulou-Kalamara, Carlo Rovelli, Chris Isham, Roger Penrose y muchos otros.

En aquellas conversaciones era tema primordial la estructura. Yo consideraba un error poner todo el poder en manos de una sola persona, porque esto es ciencia, y cuando mejor funcionan las cuestiones científicas es cuando la gente es independiente y existe una comunidad. El instituto que se planteaba crear –el Perimeter Institute de física teórica, en Waterloo, a las afueras de Toronto– debía ser sobre todo una incubadora de ideas innovadoras sobre cuestiones fundamentales, y las nuevas ideas provienen generalmente, o de gente joven, o de gente que se mantiene joven por su constante exploración de nuevas áreas. Los científicos hacemos continuas críticas unos de otros, y como mejor trabajamos es en una atmósfera de franqueza, donde cada cual pueda criticar a quien quiera de un modo sincero y directo. Se agradece también un clima de apoyo, donde la gente sea generosa y comprensiva en momentos de dificultades y fracasos. Discutimos todos estos aspectos, y con el tiempo el proyecto empezó a resultar más atractivo que continuar en Londres.

El inventor de la idea, y principal donante al Perimeter Institute, es Michael Lazaridis, copresidente de Research in Motion, la compañía productora de *Blackberries*. Él y la junta que formó dejaron claro que lo que querían, en el nivel estructural, era algo similar al Institute for Advanced Study de Princeton. Ellos dieron las instrucciones básicas y establecieron el marco de trabajo, pero no se involucran en los asuntos cotidianos referentes a la dirección y contratación científicas. Mike es absolutamente esencial para el proyecto, pero jamás nos ha abordado para sugerirnos a quién deberíamos contratar o ha intentado disuadirnos de seguir determinada línea de

investigación. Algo que se hizo en un principio fue crear un comité de científicos eminentes a fin de que actuaran como consejeros, para supervisar nuestro trabajo. Su papel es cuidar de que no divaguemos y nos perdamos en alguna extraña dirección científica, de preservar un espíritu de honradez.

El instituto está establecido ahora en un original edificio antiguo de Waterloo que anteriormente había sido un restaurante; mi despacho está justo al lado del antiguo bar. Hay un ambiente estupendo, y la gente está encantada. Han comenzado las obras de un nuevo edificio diseñado por dos jóvenes y magníficos arquitectos de Montreal, Gilles Saucier y André Perrotte. Al principio del proceso viajamos con ellos a Cambridge y Londres, donde se han construido recientemente edificios para físicos y matemáticos, y conversamos sobre qué era apropiado, qué no, y por qué. Creo que nuestro edificio va a ser un lugar para el estudio de la física teórica como no existe otro en la actualidad. Ya hay quienes dicen que el instituto es puntero en dos campos: la gravedad cuántica y la teoría cuántica de la información. Fue inaugurado en septiembre de 2001, una fecha extraña para comenzar ningún proyecto, con la participación, y el compromiso a largo plazo, de tres científicos: Robert Myers, Fotini Markopoulou y yo, es decir, un teórico de cuerdas y dos de gravedad cuántica. Una idea que tuvimos muy presente desde el primer instante era que no favoreceríamos ningún enfoque en particular. Contamos con buenos profesionales en ambos campos, y estamos creando una atmósfera en la que la gente de un campo y del otro habla entre sí. Se ha realizado ya abundante y valioso trabajo científico hasta el momento. Contratamos a dos excelentes teóricos cuánticos: Lucien Hardy, de Oxford, que ha llevado a cabo interesantísimas investigaciones sobre los fundamentos de la teoría cuántica y la teoría cuántica de la información, y Daniel Gottesman, una joven estrella de esta última teoría.

En 2002 tuvimos a diez físicos con becas de postdoctorado, diversos visitantes, gran movimiento de gente. En junio, el primer ministro canadiense y el ministro de industria hicieron una visita al instituto y nos prometieron una ayuda de más de 25 millones de dólares. Vino también el viceministro provincial de Ontario, que nos ofreció una subvención de cerca de 11 millones. Era alentador ver que los líderes de al menos un país comprendían que el apoyo a la ciencia pura es esencial para una democracia moderna.

La ciencia es una especie de laboratorio abierto para una democracia; es una forma de experimentar con los ideales de nuestras sociedades democráticas. Por ejemplo, en el terreno científico uno ha de aceptar el hecho de que vive en una comunidad que emitirá el veredicto final en cuanto a la validez del trabajo que uno realiza; pero, a la vez, el juicio de cada persona es suyo propio. La ética de la comunidad exige que uno defienda aquello en lo que cree e intente por todos los medios posibles obtener resultados que prueben sus intuiciones; eso sí, debe ser honrado a la hora de informar sobre los resultados, sean cuales fueren. Uno tiene la libertad y la independencia para hacer lo que quiera, siempre que al final acepte el juicio de la comunidad. La ciencia que tiene un valor nace de la colisión de ideas contradictorias, del conflicto, de personas que intentan superar el trabajo de sus profesores, y creo que aquí tenemos un modelo de lo que es en esencia una sociedad democrática. Nuestro modo de vida democrático tiene una gran fuerza intrínseca, y la ciencia está en la raíz misma de ese modo de vida.

Ahora quisiera hablar del problema de la gravedad cuántica y de los dos principales enfoques que se han propuesto para resolverlo: la gravedad cuántica de bucles y la teoría de cuerdas. Se trata de un caso en el que los distintos investigadores han adoptado diferentes modos de abordar la resolución de un

problema científico fundamental, y es muy interesante lo que se puede aprender observando el desarrollo de estas teorías desde comienzos de los ochenta; lo que se puede aprender sobre el espacio y el tiempo, y también sobre cómo funciona la ciencia.

"Gravedad cuántica" es el nombre que damos a la teoría que unifica toda la física. Sus raíces están en la teoría general de la relatividad de Einstein y en la teoría cuántica. La primera es una teoría del espacio, del tiempo y de la gravedad; la segunda describe todo lo demás que existe en el universo, incluidas las partículas elementales, los núcleos, los átomos y la química. Ambas teorías se inventaron a principios del siglo XX, y su ascenso supuso la deposición de la teoría previa, que había sido la mecánica newtoniana. Son el legado más importante de la física del siglo XX, y unificarlas continúa siendo el principal problema de la física, que a los investigadores de este siglo se nos ha encomendado resolver.

La naturaleza es una. La pluma que tengo en la mano está hecha de átomos *y* cae en el campo gravitatorio de la tierra. Por lo tanto, debe haber un solo marco global, una sola ley natural de la que estas dos teorías sean diferentes aspectos. Sería absurdo que hubiera dos leyes de la física irreconciliables, una para el ámbito del mundo y otra para un ámbito distinto. Ya en 1915 Einstein era consciente de esta cuestión, y en el primero de sus artículos sobre las ondas gravitatorias menciona la paradoja de cómo casar la relatividad con la cuántica.

Fue a partir de mediados de los ochenta cuando se empezó a avanzar de verdad en la unificación de estas dos teorías. El punto decisivo fue la invención, no de uno, sino de dos enfoques: la gravedad cuántica de bucles y la teoría de cuerdas. Desde entonces, ambos han progresado a ritmo uniforme; en ambos casos, somos capaces de hacer cálculos que predicen nuevos fenómenos sorprendentes. Aun así, nos falta mucho;

ni uno ni otro han tomado aún forma definitiva; todavía nos quedan cuestiones por comprender. Pero lo auténticamente importante es que ahora tenemos una verdadera oportunidad de hacer experimentos que pondrán a prueba las nuevas predicciones de estas teorías.

Esto es importante, ya que nos encontramos en la incómoda situación de contar con dos candidatas a la teoría cuántica de la gravedad bien desarrolladas, y es necesario reducirlas a una sola. Podemos hacerlo, bien probando que una está equivocada y la otra está en lo cierto, o bien probando que una y otra teoría pueden unificarse. (Cabe la posibilidad, por supuesto, de que al verificar las teorías ambas queden eliminadas, pero también esto significaría progreso.)

Hasta hace pocos años la situación era muy diferente. No sabíamos cómo poner a prueba las teorías que con tanto trabajo habíamos creado. De hecho, durante toda una generación científica –o sea, desde mediados de los setenta– la física fundamental ha estado en crisis porque no era posible someter nuestras especulaciones teóricas a pruebas experimentales. Esto era debido a que los nuevos fenómenos que nuestras teorías de la gravedad cuántica predicen ocurren a escalas de energía muchos órdenes de magnitud mayores de lo que puede crearse en el laboratorio, incluidos los inmensos aceleradores de partículas. La escala en la que la física cuántica y la gravedad se unen se conoce como escala de Planck, y tiene alrededor de quince órdenes de magnitud de energía más que los mayores aceleradores que están construyéndose en estos momentos.

En la teoría cuántica, la distancia es inversa a la energía, puesto que se necesitan partículas de energía muy elevada para sondear distancias muy cortas. La inversa de la energía de Planck es la longitud de Planck; es donde, según nuestras predicciones, la clásica representación del espacio liso y con-

tinuo se rompe, y es alrededor de 10^{20} más pequeño que un núcleo atómico. Debido a que la escala de Planck está tan sumamente alejada de la experimentación, la gente empezó a poner gran confianza en las matemáticas y la teoría; algunos teóricos de cuerdas llegaron incluso a decir simplezas como: «Desde Galileo hasta 1984 se ha extendido el período de la física moderna, en el que comprobábamos nuestras teorías de modo experimental. A partir de entonces, trabajamos en la era de la física posmoderna, en la que la coherencia de las matemáticas basta para demostrar la exactitud de nuestras teorías, y la experimentación no es ya ni posible ni necesaria». No exagero; de verdad que la gente decía cosas así.

Durante los años noventa, varios científicos mencionaron repetidamente que era posible realizar experimentos para verificar la teoría cuántica de la gravedad, pero para desgracia nuestra los ignoramos. Una de las personas que insistió enérgicamente en la idea es un joven romano llamado Giovanni Amelino-Camelia. No hizo ningún caso de quienes aseguraban que era imposible experimentar con escalas tan pequeñas y que, por tanto, era imposible verificar empíricamente estas teorías. Se dijo a sí mismo que debía haber una manera, y examinó numerosos experimentos posibles buscando formas en las que pudieran aparecer los efectos de la gravedad cuántica. Y las encontró. En la actualidad sabemos de más de media docena de experimentos que podemos realizar para comprobar diferentes hipótesis sobre la física en la escala de Planck; de hecho, el año pasado (2002), varias propuestas sobre la física de la escala de Planck quedaron descartadas como resultado de los experimentos.

El elemento clave del que se dieron cuenta Amelino-Camelia y otros es que podemos utilizar el universo mismo como instrumento experimental para examinar a fondo la escala de Planck. Hay tres formas en que el universo pone a nuestro al-

cance medios de experimentación de esta escala. En primer lugar, hay aceleradores en galaxias lejanas que producen partículas con energías mucho más altas de lo que podemos producir nosotros incluso en los más colosales aceleradores fabricados por el ser humano. Se ha observado cómo algunos de estos rayos cósmicos de ultraelevada energía golpeaban nuestra atmósfera con energías más de 10 millones de veces mayores que las que el ser humano haya producido jamás. Estos rayos nos proporcionan una serie de experimentos ya hechos, porque de camino hacia nosotros han recorrido inmensas distancias a través de la radiación y la materia que llenan el universo. De hecho, los datos han revelado ya detalles sorprendentes que, de ser validados, puede interpretarse que son debidos a efectos de la gravedad cuántica.

En segundo lugar, detectamos luz y partículas que han viajado durante miles de millones de años-luz a través del universo hasta llegar a nosotros. Los pequeñísimos efectos debidos a la gravedad cuántica durante esos miles de millones de años de viaje pueden amplificarse hasta el punto de que podamos detectarlos.

Finalmente, la inflación, que se ha propuesto como causa de la vertiginosa expansión del universo primigenio, hace las funciones de una especie de microscopio, ampliando las características de la escala de Planck a escalas astronómicas, donde podemos verlas en pequeñas fluctuaciones de la radiación cósmica de microondas.

Así pues, ¿cuáles son las teorías que pondremos a prueba con estos efectos? Una es la gravedad cuántica de bucles.

La gravedad cuántica de bucles comenzó a principios de los ochenta con una serie de descubrimientos sobre la teoría clásica de la relatividad general realizados por Amitaba Sen, que más tarde continuaría sus investigaciones de postdoctorado en la Universidad de Maryland. Abhay Ashtekar, que tra-

bajaba entonces en la Universidad de Siracusa y es actualmente director del Centro de Física Gravitatoria de la Universidad del Estado de Pensilvania, hizo con esos descubrimientos una preciosa reformulación de la teoría de Einstein, reformulación que acercó el lenguaje matemático y conceptual que empleamos para describir el espacio y el tiempo al lenguaje empleado en la física de partículas y en la física cuántica. Mi colega Ted Jacobson, de la Universidad de Maryland, y yo descubrimos entonces, en 1986, que podíamos utilizar este nuevo formalismo de Ashtekar para obtener resultados sobre el espaciotiempo cuántico. Desde los años cincuenta, la ecuación clave de la gravedad cuántica ha sido la llamada ecuación Wheeler-DeWitt. La formularon Bryce DeWitt y John Wheeler, pero desde entonces, en todos estos años, nadie había sido capaz de hallar la solución. Nosotros descubrimos que podíamos resolverla con exactitud, y de hecho encontramos un número infinito de soluciones exactas. Estas soluciones revelaban una estructura microscópica de la geometría del espacio, y nos decían que el espacio, en la escala de Planck, semeja una red con bordes discretos unidos que toman la forma de un diagrama. El año siguiente se unió a mí Carlo Rovelli (ahora miembro del Centre de Physique Théorique de Marsella) y pudimos crear una teoría cuántica de la gravedad hecha y derecha a partir de esas soluciones. Así nació la gravedad cuántica de bucles. Pronto se nos unieron muchos otros, y en la actualidad es un campo de investigación considerablemente grande.

La gravedad cuántica de bucles se diferencia de otros modos de abordar la gravedad cuántica, tales como la teoría de cuerdas, en que, aparte de utilizar el formalismo de Ashtekar, no modificamos en absoluto los principios de la relatividad ni de la teoría cuántica. Estos principios han sido verificados a fondo por medio de experimentos, y nuestra teoría está ba-

sada en su coherente unificación; eso es todo. Nuestro enfoque une la relatividad del mundo tal como lo vemos –con tres dimensiones espaciales y materia más o menos como la percibimos– y la mecánica cuántica aproximadamente en la forma en que la plantean Paul Dirac, Werner Heisenberg y sus compañeros. Cuando la mayoría de los físicos se habían rendido e intentaban modificar los principios, bien de la relatividad, o bien de la teoría cuántica, para gran sorpresa nuestra (y de muchas otras personas) nosotros conseguimos unirlas sin modificar sus principios.

Esto ha tenido como resultado una detallada teoría que nos ofrece una nueva representación de la naturaleza del espacio y del tiempo tal como aparecen cuando se examinan a la escala de Planck. El aspecto más sorprendente de esta representación es que, a esa escala, el espacio no es continuo, sino que está compuesto por elementos discretos. Hay una unidad infinitesimal de espacio: su volumen mínimo es aproximadamente el cubo de la longitud de Planck (que es 10^{-33} centímetros). Una superficie separa las regiones de espacio una de otra y tiene un área formada por unidades discretas, la más pequeña de las cuales es aproximadamente igual al cuadrado de la longitud de Planck. Esto significa que, si tomamos un volumen de espacio y lo medimos con extrema precisión, descubrimos que el volumen no puede ser simplemente cualquier cifra: debe corresponderle una serie discreta de números, exactamente igual que ocurre con la energía de un electrón dentro de un átomo; y exactamente igual que en el caso de los niveles de energía de los átomos, podemos calcular las áreas discretas y volúmenes de la teoría.

Cuando hicimos los primeros cálculos y predicciones referentes a estas unidades infinitesimales de área y volumen, no podíamos sospechar que serían observables en experimentos reales en el curso de nuestra vida. Sin embargo, una serie de

científicos –empezando con Rodolfo Gambini, de la Universidad de la República, de Montevideo, y Jorge Pullin, que trabajaba entonces en la Universidad del Estado de Pennsylvania– demostraron que por supuesto que pueden observarse sus consecuencias. Casi al mismo tiempo, Amelino-Camelia y otros anunciaban que, si esos efectos existían, debía ser posible detectarlos en experimentos relacionados con explosiones de rayos cósmicos y rayos gamma. Los efectos a los que nos referimos son causados por la luz que se dispersa al colisionar con la estructura discreta de la geometría cuántica, y esto es análogo a la difracción y refracción de la luz que se dispersa al colisionar con las moléculas del aire o del líquido que atraviesa. El efecto de la gravedad cuántica es minúsculo, muchos órdenes de magnitud más pequeño que el causado por la materia; aun así, observamos la luz producida por las explosiones de rayos gamma –estallidos colosales, posiblemente causados por la fusión de estrellas de neutrones binarias o de agujeros negros– que ha viajado a través del universo durante quizá 10.000 millones de años-luz. En el recorrido de distancias tan inmensas, esos minúsculos efectos se amplifican hasta el punto de que podemos observarlos. Debido a que las partículas elementales viajan a modo de ondas en la teoría cuántica, lo mismo les sucede a estas partículas –protones y neutrinos, por ejemplo–. Es posible que estos efectos sean los responsables de los sorprendentes detalles observados en los rayos cósmicos de muy elevada energía.

Bien, ahora viene la parte realmente interesante: algunos de los efectos predichos por la teoría parecen estar en conflicto con uno de los principios de la teoría *especial* de la relatividad de Einstein, la teoría que dice que la velocidad de la luz es una constante universal; es la misma para todos los fotones, y es independiente del movimiento de la fuente y del observador.

¿Cómo es esto posible, si esa teoría está ella misma basada en los principios de la relatividad? El principio de la constancia de la velocidad de la luz forma parte de la relatividad especial, pero nosotros cuantizamos la teoría general de la relatividad. Dado que la teoría especial de Einstein es sólo una especie de aproximación a su teoría general, podemos implementar los principios de ésta última pero hallar modificaciones a la primera. ¡Y eso parece ser lo que ocurre!

Así pues, Gambini, Pullin y otros calcularon cómo viaja la luz en una geometría cuántica y descubrieron que la teoría predice que la velocidad de la luz tiene una pequeña dependencia de la energía. Los fotones de elevada energía viajan ligeramente más despacio que los protones de energía baja. Las consecuencias son muy pequeñas, pero se amplifican con el tiempo. Dos fotones producidos por una explosión de rayos gamma hace 10.000 millones de años, uno más rojo y otro más azul, deberían llegar a la Tierra en momentos ligeramente distintos. La demora temporal que la teoría predice es lo bastante grande como para poder ser detectada por un nuevo observatorio de rayos gamma llamado GLAST (Gamma-ray Large Area Space Telescope, es decir, Telescopio espacial de largo alcance de rayos gamma), que está programado poner en órbita en 2006. Esperamos con impaciencia a que se comuniquen los resultados, ya que serán la verificación de una de las predicciones de una teoría cuántica de la gravedad.

Una inquietante pregunta con la que lidiamos en este momento es cómo de drásticamente nos veremos forzados a modificar la teoría especial de la relatividad de Einstein si el efecto predicho se confirma. La posibilidad más grave es que el principio de la relatividad sencillamente falle. El principio de la relatividad básicamente viene a decir que la velocidad es relativa y que el estado de reposo no tiene un sentido absoluto. Contradecir esto significaría que, después de

todo, existe una preferente noción de reposo en el universo, lo cual significaría, a su vez, que la velocidad es una cantidad absoluta. Esto anularía 400 años de avances de la física y nos llevaría de vuelta a un tiempo anterior a cuando Galileo enunció el principio de que la velocidad es relativa. Si bien el principio hubiera podido ser aproximadamente cierto, hemos empezado a afrontar la alarmante posibilidad de que falle cuando se tengan en cuenta los efectos de la gravedad cuántica.

Recientemente, los físicos han comprendido que esta posibilidad parece quedar descartada, considerando los experimentos que ya se han realizado: es decir, si fuera posible que el principio de la relatividad fallara al tomar en consideración los efectos de la gravedad cuántica, ya se habrían observado estos efectos en ciertas mediciones de precisión delicada que se han realizado con relojes atómicos, y en ciertos procesos astrofísicos relacionados con los residuos de las supernovas. Y no se han visto esos efectos; luego la drástica posibilidad a la que me refiero parece menos probable. Por lo tanto, ¡la hipótesis de una estructura del espacio y el tiempo a escalas veinte órdenes de magnitud menores que un núcleo atómico ha quedado descartada a la vista de los experimentos!

Pero existe otra posibilidad, y es que el principio de la relatividad se mantenga intacto, pero la teoría especial de la relatividad de Einstein necesite una modificación para permitir que los fotones tengan una velocidad que dependa de la energía. Lo más impactante que he oído este último año es que ésta es una posibilidad real. ¡La velocidad de un fotón puede ser dependiente de la energía sin que esto viole el principio de la relatividad! Fue algo que Amelino-Camelia entendió hace unos años. Yo llegué a esta cuestión a través de un trabajo que hice en el Imperial College con João Magueijo, un joven cosmólogo de mucho talento. Durante los dos años que trabajé allí, João me importunaba constantemente con este

problema. La razón por la que insistía en sus preguntas era que se había dado cuenta de que si la velocidad de la luz podía cambiar dependiendo de las condiciones –por ejemplo, cuando la temperatura y densidad del universo fueron muy elevadas– cabía la posibilidad de crear una teoría cosmológica alternativa. Andreas Albrecht y él (y antes que ellos John Moffat) habían visto que, si la velocidad de la luz era más alta en el universo primigenio, podía plantearse una alternativa a la inflación cosmológica que explicara todo lo que la inflación explica, pero sin parte de la impedimenta.

Estas ideas me parecían todas una locura, y durante mucho tiempo no entendí nada. ¡Estaba seguro de que se trataba de un error! Pero João siguió atosigándome, y poco a poco empecé a comprender que lo que decían tenía sentido. Desde entonces hemos escrito juntos varios artículos exponiendo que los postulados de Einstein pueden modificarse para dar una nueva versión de la relatividad especial en la que la velocidad de la luz puede depender de la energía.

Mientras tanto, en el transcurso de los últimos años se han obtenido algunos resultados importantes en relación con la gravedad cuántica de bucles. Uno es que la entropía de un agujero negro puede computarse, y el resultado es exactamente el correcto. En 1971, Jacob Bekenstein descubrió en su tesis doctoral que todo agujero negro debe tener una entropía proporcional al área de su horizonte, la superficie más allá de la cual la luz no puede escapar. Stephen Hawking precisó después este punto, mostrando que la constante de la proporcionalidad debe ser, en unidades en las que el área se mide con el cuadrado de la longitud de Planck, exactamente de un cuarto. Desde entonces ha sido un reto para todas las teorías cuánticas de la gravedad reproducir este resultado. Es más, se supone que la entropía se corresponde con una medida de información: computa cuántos bits de información estén quizá ausentes en una

observación en particular. Por lo tanto, si un agujero negro tiene entropía, debemos responder a la pregunta: ¿qué información computa esa entropía?

La gravedad cuántica de bucles responde a estas preguntas dando una descripción detallada de la estructura microscópica del horizonte de un agujero negro. Esto se basa en la descripción atómica de la geometría espacial, que implica que el área del horizonte de un agujero negro está cuantizada –al igual que el espacio, está compuesta de unidades discretas. Resulta que un horizonte puede tener, por cada unidad cuantizada de área, un número finito de estados, y, al contarlos, obtenemos exactamente el resultado de Bekenstein, con la mencionada proporción de un cuarto.

Se trata de un resultado muy reciente. La primera vez que hicimos este tipo de cálculo, a mediados de los noventa, conseguimos llegar hasta una constante global de la entropía. Unos meses más tarde, en un excelente artículo, Olaf Dreyer, que trabajaba con una beca de postdoctorado en el Perimeter Institute, encontró un sencillísimo y original argumento que fija esa constante, basándose en una propiedad absolutamente clásica de los agujeros negros. Utiliza una antigua proposición de Niels Bohr conocida como el principio de correspondencia, que nos dice cómo armonizar la descripción clásica y la descripción cuántica de un mismo sistema. Una vez fijada la constante, nos ofrece la entropía correcta para todos los agujeros negros.

Otro gran avance de la gravedad cuántica de bucles es que ahora sabemos cómo describir, no sólo el espacio, sino el espaciotiempo –incluidos la causalidad, los conos de luz, etcétera– en gravedad cuántica de bucles. También el espaciotiempo resulta ser discreto, definido por una estructura llamada espuma de espín. Recientemente se han hecho importantes hallazgos; se ha visto que los resultados de las computaciones

dinámicas en modelos de espuma de espín son finitos. Estos dos resultados juntos parecen una prueba sólida de que la gravedad cuántica de bucles está aportando respuestas sensatas a preguntas sobre la naturaleza del espacio y del tiempo en las escalas más cortas.

Ahora permítanme decir algo sobre la teoría de cuerdas, que es el otro enfoque investigado a fondo para abordar la gravedad cuántica.

La teoría de cuerdas es un argumento de gran belleza. Intenta unificar la gravedad y otras fuerzas mediante el postulado de que todas las partículas y fuerzas surgen de las vibraciones de objetos extendidos. Se incluyen aquí objetos unidimensionales (de ahí el nombre de "cuerdas"), pero existen también objetos extendidos de mayor número de dimensiones, que reciben el nombre de "branas" (generalización de membranas). La teoría de cuerdas nace de la observación de que todos los cuantos portadores de las fuerzas conocidas, así como todas las partículas conocidas, pueden hallarse entre las vibraciones de estos objetos extendidos.

La teoría de cuerdas no es una teoría completa de la gravedad cuántica, por razones que explicaré dentro de un momento, pero es válida hasta cierto punto. Aporta, hasta cierto orden de aproximación, predicciones coherentes sobre algunos efectos de la gravedad cuántica, entre ellos la dispersión de gravitones (cuantos de la gravedad análogos a los fotones) con otras partículas. Para determinados tipos muy restringidos de agujeros negros (que, de hecho, no son agujeros negros verdaderos, sino sistemas con propiedades similares a una clase de agujero negro particular), ofrece predicciones que coinciden con los resultados de Bekenstein y Hawking. Y es cierto que logra unificar la gravedad y las demás fuerzas.

Sin embargo, debemos leer también la letra pequeña. Para que la teoría de cuerdas funcione, es necesario aceptar la hi-

pótesis de que existen seis o siete dimensiones del espacio imposibles de observar, así como la hipótesis de que hay nuevas clases de simetría, llamadas supersimetrías, que tampoco se han observado hasta el momento. Estas simetrías enlazan partículas habitualmente consideradas constituyentes de la materia (como quarks y electrones) con los cuantos de fuerzas de interacción (como fotones y gluones).

La supersimetría es una idea preciosa y, de hecho, tiene una solidez, independiente de la teoría de cuerdas, como misteriosa conjetura sobre las partículas elementales. Desgraciadamente no se puede observar. Si pudiera observarse directamente, entonces a cada partícula le correspondería una compañera supersimétrica, es decir, una compañera con la misma masa y las mismas cargas e interacciones, exceptuando el espín, que diferiría en un medio. ¡Y esto ciertamente no se ha observado! Considerando que los postulados de la supersimetría sean ciertos, es sólo de modo indirecto como podemos reconocerlos en la naturaleza: en la jerga física decimos que "la simetría se rompe". Otra forma de expresar esto es diciendo que las fuerzas tienen una simetría, pero el estado del mundo no les obedece. (Por ejemplo, al pasear la vista por la sala de estar, uno ve que el hecho de que el espacio tenga una simetría tridimensional se rompe debido a los efectos del campo gravitatorio, que apunta hacia abajo.)

Hay ciertas pruebas indirectas, que algunos consideran indicio de que la supersimetría está presente y de que podrá observarse en futuros experimentos con aceleradores, pero no se ha encontrado ninguna evidencia directa hasta el momento, como tampoco ha podido probarse experimentalmente que existan las dimensiones adicionales que la teoría de cuerdas requiere.

El interesante –aunque desafortunado– resultado final de todo esto es que, a falta de posibilidades de comprobación

experimental, las diferentes comunidades científicas se han centrado en diferentes cuestiones y han inventado diferentes mundos imaginarios. Quienes investigan la gravedad cuántica de bucles siguen viviendo en el mundo que vemos, donde el espacio tiene tres dimensiones y no hay necesidad de más simetrías que las que observamos. Muchos teóricos de cuerdas viven –al menos imaginariamente– en un universo de diez u once dimensiones. Un chiste cuenta que un teórico de cuerdas, al oír una conversación sobre la gravedad cuántica de bucles, dice: «Sí, es una teoría preciosa, pero tiene dos grandes fallos: ¡que su espacio sólo tiene tres dimensiones y que no hay supersimetría!», a lo que su interlocutor responde: «¿Quiere usted decir, justo como el mundo real?». De hecho no es un chiste; esto lo he oído. (Y, por cierto, si el mundo resulta tener mayor número de dimensiones y supersimetría, es algo que podría incorporarse a la gravedad cuántica de bucles.)

Es verdaderamente asombroso hasta qué punto llegan algunos a inventar mundos imaginarios cuando la ciencia se divorcia de la experimentación; siguen determinada estética de elegancia matemática allá adonde les lleve. Si uno acepta todas las premisas –las dimensiones adicionales, las supersimetrías, etcétera–, puede decirse que, efectivamente, la teoría de cuerdas consigue aproximarse de una forma limitada a unificar la gravedad y la teoría cuántica. Ahora bien, incluso si sus proposiciones resultan ciertas, la teoría de cuerdas sólo puede ser una aproximación a la teoría real. Una de las razones es que hay un enorme número de teorías de cuerdas, y hasta el momento, aunque se han estudiado muchas de ellas, no se ha descubierto que ninguna concuerde con todo lo que observamos en nuestro universo. Hay tres características del mundo que ninguna teoría de cuerdas ha podido hasta ahora reproducir: la ausencia de supersimetría a bajas energías, la presencia de una constante cosmológica con signo positivo (hablaré más

sobre esto después), y la ausencia absoluta de determinado tipo de campo –llamado campo escalar sin masa– que las teorías de cuerdas predicen en abundancia. Así pues, parece probable que, incluso si los postulados de la teoría de cuerdas son verdaderos en un sentido generalizado, la auténtica teoría que de hecho describa nuestro universo debe ser significativamente distinta de todas las teorías de cuerdas inventadas hasta el presente.

Otra razón de que esta teoría no pueda tener la palabra final es que sus estudios se basan en el movimiento de cuerdas en un espaciotiempo clásico prefijado. Por tanto, la teoría de cuerdas es lo que llamamos un enfoque dependiente del trasfondo, lo que significa que se definen las cuerdas considerando que su movimiento tiene lugar en un espacio y tiempo fijos, lo cual puede ser útil como aproximación, pero no puede ser la teoría fundamental. Uno de los descubrimientos esenciales de Einstein es que no existe ningún trasfondo fijo. La geometría espaciotemporal misma es un sistema dinámico que evoluciona en el tiempo. Las observaciones experimentales de que la energía escapa de los púlsares binarios en forma de ondas gravitatorias –a la velocidad predicha por la relatividad general, con una exactitud, sin precedentes, de once decimales– nos dicen que no hay un trasfondo de geometría espaciotemporal fijo más de lo que hay esferas de cristal fijas que sirvan de soporte a los planetas. La teoría fundamental debe aunar la teoría cuántica con una descripción completamente dinámica del espacio y el tiempo; debe ser lo que llamamos una teoría independiente del trasfondo. La gravedad cuántica de bucles lo es; la teoría de cuerdas no.

El debate entre los proponedores de la teoría dependiente del trasfondo y quienes abogan por la teoría independiente es en realidad la versión moderna de un ancestral debate. Desde los griegos ha estado en pie la discusión encarnizada entre

aquellos que creen que el espacio y el tiempo tienen carácter fijo, absoluto, y aquellos que consideran que el espacio y el tiempo no son más que relaciones entre sucesos que a su vez evolucionan en el tiempo. Platón, Aristóteles y Newton fueron absolutistas; Heráclito, Demócrito, Leibniz, Mach y Einstein, relativistas. Cuando requerimos que la teoría cuántica de la gravedad sea independiente del trasfondo, estamos diciendo que, a nuestro entender, lo que la relatividad general representó para el punto de vista relacional fue un triunfo definitivo y que no debe volverse atrás.

Gran parte de la discusión entre teóricos de cuerdas y de bucles es una continuación de ese debate. La mayoría de los teóricos de cuerdas recibieron una formación de físicos de partículas elementales, y el trabajo que realizaron durante toda su vida estaba enmarcado en un espaciotiempo único y fijo. Muchos de ellos ni siquiera han oído hablar del debate relacional/absoluto, que es el contexto histórico y filosófico básico del trabajo de Einstein. La mayor parte de las personas que trabajan en la gravedad cuántica de bucles lo hacen porque, en algún momento de su educación, entendieron el carácter relacional y dinámico del espaciotiempo tal como se describe en la relatividad general, y creen en él. No trabajan en la teoría de cuerdas porque no pueden tomar en serio a ningún candidato a la teoría cuántica de la gravedad que dependa del trasfondo y que, al hacerlo, pierda de vista (o, en el mejor de los casos, oculte) el carácter relacional y dinámico del espacio y del tiempo.

De modo similar, al principio los teóricos de cuerdas se resistían a la idea de que la teoría fundamental debía ser independiente del trasfondo; sin embargo, creo que para ahora casi todos los teóricos de cuerdas han acabado por aceptarlo. Y lo han hecho porque en la teoría de cuerdas hay razones internas para creer que la teoría fundamental debe ser independiente del trasfondo, lo cual se debe a que la teoría de cuerdas resul-

tó no ser única. Mientras la esperanza original, allá en los años ochenta, era que la coherencia matemática bastaría para determinar la teoría unificada, resulta que en la realidad hay un inmenso número de teorías de cuerdas igualmente coherentes. Cada una de ellas es igual de coherente que las demás, y cada una depende de una opción diferente de trasfondo fijo. Más allá de esto, a pesar del gran número de teorías de cuerdas de las que tenemos noticia, ninguna de ellas concuerda con las observaciones sobre los tres puntos que antes he mencionado.

Como consecuencia, en un movimiento llamado "la segunda revolución de cuerdas", a mediados de los noventa los teóricos de cuerdas postularon que todas las distintas teorías de cuerdas descubiertas hasta entonces, más un infinito número de teorías aún por descubrir, eran meras aproximaciones a una teoría unificada. A esta teoría se la ha llamado teoría M, pero no existe consenso alguno sobre cuáles son sus principios o qué forma matemática adopta. La idea es que la teoría M, si es que existe, sería independiente del trasfondo, y contaría con todas las diferentes teorías de cuerdas dependientes del trasfondo para solucionar la cuestión.

Muchos teóricos de cuerdas dicen ahora que el mayor problema de la teoría de cuerdas es encontrar la teoría M y dar a la teoría de cuerdas una forma independiente del trasfondo; pero lo gracioso es que muy pocos teóricos de cuerdas han intentado resolver el problema. La dificultad estriba en que toda su intuición y sus recursos están basados en teorías dependientes del trasfondo. Cuando llamo la atención de los teóricos de cuerdas sobre este particular, me contestan que es demasiado prematuro, que aún no ha llegado el momento de ocuparse de esta cuestión.

He tenido conversaciones muy interesantes con los líderes de la teoría de cuerdas: Edward Witten, Leonard Susskind,

Renate Kallosh, David Gross, John Schwarz, Michael Green, Andrew Strominger y muchos otros. Discrepamos claramente en cuanto a metodología. Me dicen que tengo una idea errónea de cómo funciona la ciencia; que uno no puede confiar en que logrará resolver cuestiones fundamentales atacándolas directamente, sino que debe seguir la teoría hacia donde ésta se dirija. Un destacado teórico de cuerdas me ha dicho en varias ocasiones que mucho tiempo atrás se había dado cuenta «de que la teoría de cuerdas es más lista que uno», y que tratar de dirigir la teoría hacia donde uno quiere llegar significaría presumir que uno es «más inteligente que la teoría». Otro teórico me explica que la teoría de cuerdas funciona porque existe en el seno de «una comunidad muy disciplinada» en la que los líderes imponen un orden a la comunidad de investigadores para asegurarse de que sólo intentarán resolver un pequeño número de cuestiones al mismo tiempo.

Siento un gran respeto hacia los teóricos de cuerdas, como personas y por lo que han logrado; algunos de ellos son buenos amigos míos. A la vez, creo que están equivocados en su forma de entender cómo funciona la ciencia. Esto no significa en absoluto que me considere más inteligente que la teoría de cuerdas, o que sus teóricos; pero discrepo en cuanto a la metodología, porque estoy seguro de que las cuestiones científicas fundamentales no se resuelven de la manera accidental que ellos proponen. Einstein solía quejarse de que muchos científicos se limitan a abordar los problemas fáciles, «a taladrar allí donde la madera es fina», decía. En una de las pocas conversaciones que tuve con Richard Feynman, comentó que muchos físicos teóricos dedican toda su vida profesional a formular preguntas de mero interés matemático. «Si uno quiere descubrir algo significativo –me dijo–, tiene que intentar resolver sólo aquellas cuestiones cuya respuesta pueda llevar a nuevas predicciones experimentales.»

Aprendí también, del filósofo Paul Feyerabend, la importancia que tienen en la ciencia el conflicto y el pluralismo. Leí sus libros siendo estudiante universitario y de inmediato tuve la sensación de que, a diferencia de otros filósofos a los que había leído, Feyerabend entendía realmente lo que es en la práctica el trabajo científico. Señalaba que los avances de la ciencia a menudo son fruto de la tensión creada al colisionar proyectos de investigación rivales, y aconsejaba que, en ese tipo de situaciones, uno debe centrarse siempre en la parte más débil de cada uno de los proyectos que compiten. Subrayaba asimismo que, en la ciencia, el pluralismo es bueno, no un inconveniente. Según él, y yo comparto su opinión, la ciencia avanza con mayor rapidez cuando hay diversos enfoques sensatos en competencia por resolver un problema, y se estanca cuando hay un único enfoque. Creo que esto es verdad en todos los niveles: el de la comunidad científica como un todo, en un centro o grupo de investigación, e incluso en cada uno de nosotros.

Así pues, aunque discrepo de los principales teóricos de cuerdas en el aspecto metodológico, esto no me ha impedido estudiar e investigar la teoría de cuerdas. Después de todo, la teoría no es propiedad suya; los problemas aún no resueltos están abiertos a que cualquiera los intente resolver. De manera que, hace unos años, decidí ignorar sus explicaciones y tratar de construir una forma independiente del trasfondo para la teoría M. En el proceso de invención de la gravedad cuántica de bucles, aprendimos mucho sobre cómo crear teorías cuánticas del espacio y del tiempo libres de esa dependencia. Tenemos un lenguaje matemático, y también un lenguaje conceptual; sabemos qué preguntas formular, y sabemos hacer los cálculos. Y resulta que gran parte de la gravedad cuántica de bucles puede generalizarse y extenderse, si se le añaden otras dimensiones y otras simetrías, a fin de obtener un lenguaje apropiado para la teoría M.

Al principio, algunos de mis amigos y colaboradores se quedaron perplejos al enterarse de lo que estaba haciendo. Pero yo tenía la idea de que quizá la teoría de cuerdas y la gravedad cuántica de bucles fueran distintas facetas de una misma teoría (algo muy similar a la parábola de los ciegos y el elefante). Pasé alrededor de dos años trabajando en la teoría de cuerdas y la teoría M, con el objetivo de hacerlas independientes del trasfondo, para así poder unificar la teoría de cuerdas y la gravedad cuántica de bucles. Obtuve de hecho algunos resultados muy interesantes; conseguí construir una posible formulación independiente del trasfondo para la teoría de cuerdas.

Los resultados más notables que logré se sirven de unas exquisitas nociones matemáticas, relacionadas con un tipo especial de número llamado octonión. Se trata de números que pueden dividirse, pero no cumplen las demás propiedades, tales como la conmutativa y la asociativa. Feza Gürsey, de la Universidad de Yale, y sus estudiantes, especialmente Murat Gunyadin, llevan años explorando la idea de que los octoniones puedan estar conectados con la teoría de cuerdas. El emplear octoniones me permitió desarrollar una atractiva idea (originadamente expuesta por Corrine Manogue y Tevian Dray, de la Universidad del Estado de Oregón) que explica por qué el espacio puede parecer tridimensional siendo, en cierto sentido matemático, un espacio de nueve dimensiones. No sé si la dirección que tomé es la correcta, pero sí descubrí que de hecho no es tan difícil utilizar métodos independientes del trasfondo para formular y estudiar conjeturas sobre qué es la teoría M.

Trabajar en la teoría de cuerdas empleando los métodos de la gravedad cuántica de bucles fue muy divertido. Allí estaba yo con unos pocos amigos, tal como había sido en los comienzos de la gravedad cuántica de bucles, y el progreso fue de verdad considerable. Sin embargo, durante el pasado año

he dejado a un lado este trabajo, debido a los nuevos avances experimentales. En cuanto comprendí lo que Giovanni Amelino-Camelia quería decir, me di cuenta de que aquello era ciencia y de que era en lo que debíamos centrarnos. Desde entonces me ha costado mucho más despertarme por la mañana e irme a trabajar a un mundo imaginario con otras seis o siete dimensiones.

Hubo otra noticia impactante, como resultado de los experimentos, que me hizo apartar la atención de la teoría de cuerdas: el descubrimiento, en el trascurso del último par de años, de que la mayor parte de la energía del universo adopta una forma a la que Einstein llamó constante cosmológica. Se puede interpretar esta constante como indicio de que el espacio vacío tiene cierta densidad de energía intrínseca. Resulta algo difícil de creer, pero los datos cosmológicos no pueden explicarse de modo convincente en estos momentos a menos que uno acepte que la mayor parte de la energía del universo toma esta forma. El problema es que la teoría de cuerdas parece ser incompatible con un mundo en el que la constante cosmológica tiene signo positivo, que es lo que las observaciones indican. Es un problema que preocupa seriamente a los teóricos de cuerdas. Son personas de recursos, y tal vez lo solucionen, pero, tal como están las cosas en este momento, la teoría de cuerdas parece incompatible con esa observación.

La gravedad cuántica de bucles, en cambio, puede asimilar perfectamente una constante cosmológica positiva. De hecho, es lo que necesitábamos: si hay una constante cosmológica, podemos encontrar un candidato al estado cuántico del universo y demostrar que predice que el universo a grandes escalas está gobernado por la relatividad general y la teoría cuántica. Así es que, en los últimos meses, he estado estudiando principalmente cómo hacer predicciones sobre los nuevos experimentos desde una versión de la gravedad

cuántica de bucles a la que se ha incorporado una constante cosmológica positiva.

Lo bueno de la ciencia es que recibimos del mundo real este tipo de sacudidas. Uno puede vivir durante unos años en un mundo imaginario, pero la labor de la ciencia, en última instancia, es explicar lo que observamos. Entonces uno se mira al espejo y se pregunta: «¿quiero de verdad estar ahí afuera, en once dimensiones, jugando con una matemática exquisita, cuando ha empezado ya el tiempo de los experimentos?».

UNA MIRADA HACIA DELANTE

MARTIN REES

El reto es comprender cómo nace la complejidad; es un reto tan fundamental como el de plantear la llamada teoría del todo, y es independiente de ella. El físico teórico Steven Weinberg dice que si uno se pregunta repetidamente «¿por qué..., por qué..., por qué?», esto le lleva de vuelta a una pregunta de la física de partículas o de la cosmología. Hasta cierto punto, es verdad, pero sólo en un sentido limitado.

SIR MARTIN REES es profesor emérito de la Royal Society en la Universidad de Cambridge, miembro honorario del Kings College y Astrónomo Real del Reino Unido. Anteriormente ocupó la cátedra Plumian de astronomía y filosofía experimental en la Universidad de Cambridge, cargo en el que sucedió a Fred Hoyle y para el que fue nombrado a la edad de treinta años. Es autor de diversos libros, entre ellos: *Gravity's Fatal Attraction* (en colaboración con Mitchell Begelman), *Before the Beginning* [*Antes del principio*], *Just Six Numbers* [*Seis números nada más*] y *Our Cosmic Habitat* [*Nuestro hábitat cósmico*].

Los problemas que han planteado los primerísimos instantes del universo están empezando a esclarecerse. En la actualidad conocemos las propiedades clave del universo en la era presente: su densidad, su edad y sus constituyentes principales. De hecho, estos últimos años pasarán a los anales de la cosmología como una época especialmente notable, pues en el trascurso de estos años hemos definido la forma y los contenidos del cosmos, igual que en siglos anteriores los navegantes pioneros determinaron el tamaño de la Tierra y la disposición de sus continentes. El reto ahora es explicar cómo adoptó esa forma el universo, es comprender por qué se expande como lo hace y por qué acabó teniendo su actual contenido. Podemos rastrear su historia paso a paso y remontarnos hasta aproximada-

mente un microsegundo después de la putativa Gran Explosión que le dio origen, pero ¿qué sucedió en ese primer microsegundo de formación? La bulliciosa variedad de ideas que se discuten –branas, inflación, etcétera– pone de manifiesto que estamos aún muy lejos de la respuesta correcta. Nos encontramos en una etapa en la que se deben explorar todas las posibilidades. Merece la pena considerar incluso las consecuencias de las ideas más excéntricas, aunque las probabilidades de que cualquiera de ellas resulte válida a largo plazo son escasas.

No me considero técnicamente un experto en ninguna de esas teorías específicas sobre los primerísimos instantes del universo. Parece probable que otras dimensiones del espacio desempeñaran un papel en ellos. Por otra parte, la idea de la inflación, que ha dominado este campo durante los últimos veinte años, se ha generalizado ahora como marco para los nuevos conceptos de científicos como Lisa Randall, Neil Turok y Paul Steinhardt. El principal objetivo, por supuesto, es desarrollar una teoría convincente y exhaustiva que describa el universo primigenio y haga predicciones verificables sobre el mundo actual. Si dispusiéramos de una teoría que nos permitiera tener una comprensión de las masas de electrones y protones y de las fuerzas que los gobiernan, más profunda y detallada de lo que nos permite el llamado modelo estándar, tomaríamos en serio sus implicaciones para esos primerísimos instantes del universo. Tenemos la esperanza puesta en que alguna de las nuevas teorías exóticas hará predicciones verificables sobre el mundo ordinario de partículas o sobre el universo. Algunas de esas teorías hacen, por ejemplo, predicciones muy diversas sobre la cantidad de radiación gravitatoria que llena el universo. Esto no es algo que pueda medirse en la actualidad, pero quizá sea posible en los próximos diez años, y entonces las observaciones astronómicas tal vez ayuden a reducir el abanico de opciones.

La idea más fácil de entender conceptualmente es la de la eterna inflación, de la que es defensor Alan Guth y sobre la que el cosmólogo de Stanford Andrei Linde ha realizado un extenso y pormenorizado trabajo. Esto naturalmente da lugar a muchas versiones de la Gran Explosión. Si esas Grandes Explosiones serán prácticamente réplicas una de otra o si la materia de cada una de ellas estaría regida por leyes diferentes es algo que todavía no sabemos. Tal vez la eterna inflación logre esquivar las complicaciones relacionadas con dimensiones adicionales y gravedad cuántica, pues éstas quedarían relegadas al pasado infinito.

No obstante, la mayor parte de nosotros sospechamos que, para avanzar, es un requisito imprescindible disponer de una teoría completamente resuelta que relacione la gravedad con el micromundo. En los primerísimos comienzos, el universo entero habría podido quedar reducido al tamaño de una partícula elemental; las fluctuaciones cuánticas habrían podido sacudir la totalidad del universo, y debió de existir un vínculo esencial entre la cosmología y el micromundo. La teoría de cuerdas y la teoría M –que contemplan, ambas, la existencia de otras dimensiones– son los intentos más ambiciosos, muy en boga actualmente, de establecer esa relación. Una vez que tengamos esa teoría, deberíamos al menos ser capaces de crear algunas fórmulas físicas que explicaran los orígenes primeros del universo. Surge la pregunta, por supuesto, de si sería posible que el tiempo y el espacio estuvieran enredados tan intrincadamente que nos resultara imposible hablar de un "principio" en el tiempo. Tendremos que echar por la borda cada vez más de nuestros conceptos basados en el sentido común a medida que nos adentremos en esas condiciones extremas. El mayor escollo en este momento es que la parte matemática de estas teorías es tan difícil que no es posible relacionar la complejidad de ese espacio de diez u once dimen-

siones con nada de lo que realmente observamos. A esto hemos de añadir que, a pesar de la apariencia estéticamente atractiva de estas teorías y de la interpretación tan natural de la gravedad que nos ofrecen, siguen sin darnos una explicación de por qué este mundo tridimensional nuestro contiene los tipos de partículas que los físicos estudian.

Aunque Roger Penrose sea probablemente capaz de trabajar con cuatro dimensiones, no creo que, intuitivamente, ninguna de estas teorías pueda en modo alguno imaginar varias dimensiones más. Lo que sí hacen es concebirlas como constructos matemáticos, y las matemáticas pueden, por supuesto, formularse y estudiarse. Un detalle particularmente inusual de la teoría de cuerdas –desde el punto de vista de la sociología e historia de la ciencia– es que nos encontramos ante uno de los pocos casos en los que el progreso de la física se ha visto impedido por falta de las matemáticas pertinentes. En el pasado, los físicos generalmente echaban mano de nociones matemáticas ya existentes, anticuadas. Einstein utilizó la geometría no euclidiana del siglo XIX, y los pioneros de la teoría cuántica emplearon la teoría de grupos y ecuaciones diferenciales que, en esencia, se habían resuelto con mucha antelación. Sin embargo la teoría de cuerdas plantea problemas matemáticos que aún no se han solucionado, lo cual, de hecho, ha sido causa de un mayor acercamiento entre las matemáticas y la física. Esta teoría es el enfoque dominante en la actualidad, y ha obtenido ya algunos exitosos resultados; pero la pregunta es si continuará desarrollándose hasta alcanzar la fase en la que seamos capaces de resolver problemas de un modo que pueda verificarse mediante la observación. Si no es posible salvar la distancia entre esta teoría de diez dimensiones y todo aquello que observamos, habremos llegado a un punto muerto.

Nuestros modelos de los primerísimos instantes del universo son hoy día algo bastante parecido a lo que fue el mo-

delo genérico de la Gran Explosión en las décadas anteriores a los años sesenta, cuando científicos como Georges Lemaître, George Gamow y Alexandr Friedman formularon una serie de ideas básicas, pese a que nadie podía verificarlas realmente y la física de los primeros minutos del universo era todavía una completa conjetura. De la misma manera, la inflación y la teoría de cuerdas referidas a aquellos primerísimos instantes del universo van hoy muy por delante de cualquier predicción que podamos verificar experimentalmente. La cuestión es si dentro de diez o veinte años tendremos los medios para hacerlo, de modo semejante a como en los diez últimos años hemos tenido medios certeros para probar la teoría del *Big Bang*, que nos han permitido remontarnos hasta el instante en que el universo tenía un segundo de vida. Si se trata de ideas que nunca se podrán probar, entonces uno puede argüir, por supuesto, que no son más que "ciencia irónica", en el desdeñoso sentido de esta expresión introducida por John Horgan. Pero yo confío en que de aquí a diez o veinte años sabremos cuál, o si alguna, de esas ideas está bien encaminada, ya porque forme parte de una teoría general unificada que explique las fuerzas y leyes básicas de la naturaleza, o porque se haya realizado alguna observación astronómica capaz de decidir entre ellas. Una vez más, los teóricos marcan la pauta, y convencen y estimulan a observadores y experimentadores; por eso es importante que se exploren alternativas a la corriente dominante, como, por ejemplo, la gravedad cuántica de bucles de Lee Smolin. De la teoría de cuerdas, lo que me preocupa es la quizá excesiva concentración de talentos en ese campo. No sólo se trata de un despliegue poco idóneo de esfuerzos científicos, sino que inevitablemente ha de generar abundantes desilusiones cuando tantos jóvenes brillantes van todos a la caza de las mismas ideas.

Me interesa también una serie de cuestiones fundamentales relacionadas con la unicidad de las leyes físicas. Siempre me han impresionado los llamados "argumentos sobre el ajuste perfecto", que sostienen que nuestro universo parece ser notablemente especial y que su complejidad sólo puede deberse a que está gobernado por leyes de carácter extraordinariamente inusitado. Nuestra existencia es un auténtico misterio, ya que es fácil imaginar un conjunto de leyes que hubiera conducido a un universo estéril o mortinato. La respuesta más natural al misterio sería que nuestro *Big Bang* no fue el único, es decir, que hay muchos universos, que éstos han acabado rigiéndose por diferentes leyes, y que sólo algunas de ellas permiten que las estructuras, y en última instancia la vida, evolucionen. Así pues, me atraen aquellos modelos del universo que contemplan no un solo *Big Bang* sino varios –una de las características del modelo de la eterna inflación propuesto por Andre Linde y de algunos modelos que requieren la existencia de otras dimensiones–. Me gustaría saber si la física (todavía especulativa) que predice esos universos paralelos está en lo cierto, y si los distintos universos están gobernados por leyes físicas y fuerzas diferentes. ¿Contienen partículas totalmente distintas de las que constituyen nuestro universo? Si de hecho existe una gran diversidad entre los numerosos universos, no debería sorprendernos que hubiera al menos uno semejante a éste que habitamos.

Otra perspectiva diferente nos llega de la mano del teórico de Oxford David Deutsch, que ha perfeccionado la teoría de los "muchos mundos" de la mecánica cuántica. Su idea es que estos universos están superpuestos de algún modo unos a otros, que no es la misma idea que propone Lisa Randall de los universos paralelos. Quizá estas líneas de pensamiento nos permitan comprender con mayor claridad la teoría y la computación cuánticas. Es verdad el comentario de John Pol-

kinghorne de que «la mecánica cuántica común no es más filosófica que la mecánica común del automóvil». La mayoría de los físicos usan la teoría de una forma bastante maquinal, simplemente para resolver problemas. Es posible que la mecánica cuántica nos dé las soluciones, pero sigue siendo misteriosa en algunos sentidos, luego no deberíamos presumir que hemos encontrado ya la forma correcta de abordarla. Hay personas como David Deutsch que en estos momentos nos orientan en una dirección productiva.

Existe la tendencia a emplear términos como "teoría del todo" y "teoría definitiva" para referirse al objeto de las investigaciones de teóricos como Edward Witten, del Institute for Advanced Study, y otros cientos de talentosos teóricos. La teoría que tratan de encontrar sería el final de una larga búsqueda que empezó con Newton y siguió con Einstein y sus sucesores. Pero, claro está, no sería el final de la ciencia, sino sólo el final de una búsqueda particular; no nos ayudaría a entender la mayor parte de las complejidades del mundo. A la mayoría de los científicos, e incluso de los físicos, no les sería de la menor ayuda una teoría fundamental, puesto que los problemas a los que se enfrentan no son resultado de no conocer las leyes básicas. El reto es comprender cómo nace la complejidad; es un reto tan fundamental como el de plantear la llamada teoría del todo –y es independiente de ella. El físico teórico Steven Weinberg dice que si uno se pregunta repetidamente «¿por qué..., por qué..., por qué?», esto le lleva de vuelta a una pregunta de la física de partículas o de la cosmología. Hasta cierto punto, es verdad, pero sólo en un sentido limitado. Es un reto preguntar por qué un fluido se comporta a veces de modo regular y a veces de modo caótico –para comprender la turbulencia, o los grifos que gotean, por ejemplo–, pero analizar el líquido hasta sus constituyentes subatómicos no será lo que nos dé la respuesta. La respuesta será

consecuencia de pensar en ello de una forma distinta, de pensar en la complejidad. Por poner un caso, el descubrimiento de Mitchell Feigenbaum de que en la transición del comportamiento ordenado al comportamiento caótico aparece la misma serie de números es un descubrimiento importante del mundo, pero no tiene nada en absoluto que ver con la física de partículas, pese a que es igual de fundamental.

Antes de la era de los ordenadores no era posible entender plenamente cómo, de un algoritmo sencillo, podía resultar una tremenda complejidad. Ha sido a través de los ordenadores como hemos podido crear este nuevo tipo de ciencia –del que, por supuesto, Stephen Wolfram es el más destacado promotor– que nos permite desarrollar nuevas intuiciones sobre cómo patrones y algoritmos sencillos pueden tener consecuencias extremadamente complejas. Se trata de una ciencia que, pese a estar intelectualmente en el mismo nivel por completo que la física de partículas y la teoría cuántica, está bastante disociada de ellas. Wolfram ha creado un excelente manifiesto de este tipo de ciencia; ahora bien, si su modo de enfocar las cosas es la clave para la comprensión del espacio, el tiempo y las partículas, eso ya no lo sé. Si he de ser sincero, tengo bastantes dudas al respecto. Pero simpatizo con aquellas personas que, como el físico de Princeton Philip Anderson, quieren abatir el orgullo desmedido de los físicos fundamentales que aseguran que su objeto de estudio es el más trascendental y prioritario de todos. Es igual de importante entender la complejidad, observar su forma más simple en su transición al caos, y sus formas más complicadas en el resto de la ciencia: el código genético, el flujo de fluidos, y todas las demás.

Lo que personalmente me preocupa en este momento –y de hecho me ha preocupado durante más de veinte años– es comprender cómo terminó la edad oscura del universo. Tras el resplandor inicial de la Gran Explosión, el universo se en-

frió y quedó a oscuras hasta que se formaron las primeras estrellas o galaxias y lo iluminaron de nuevo. Hemos avanzado mucho, con la ayuda tanto de la observación como de la teoría, en la comprensión de cómo pasó el universo, de un estado amorfo y carente de estructura, a la complejidad. Esta transición clave fue bastante tardía, no ocurrió hasta quizá 100 millones de años después del *Big Bang*. Las características físicas elementales a las bajas temperaturas y densidades predominantes en aquellos momentos no plantean ninguna controversia, pero las cosas se complican, por la misma razón que es complicada toda ciencia medioambiental. Me interesa comprender cómo evolucionaron las primeras estructuras, cómo se desarrollaron los primeros agujeros negros, las primeras estrellas y galaxias.

Sin embargo, a los cosmólogos no nos preocupa menos que a cualquier otra persona lo que sucederá la semana que viene o el año próximo; es más, el darnos cuenta a fondo de los vastos eones que se extienden ante nosotros tal vez nos haga especialmente conscientes del futuro de la vida, es decir, de su potencial posthumano. Es hoy causa de júbilo el acelerado progreso de algunas ciencias, y desde luego hay personas que, como Ray Kurzweil especialmente, piensan que el progreso técnico avanza imparable hacia alguna clase de singularidad, o cúspide, que podría alcanzarse de aquí a más o menos cincuenta años. Lo que me preocupa es que estos avances, sobre todo en el campo de la biotecnología, generarán una mayor inestabilidad, pues incrementan la influencia y el poder de un individuo solo, o un pequeño grupo violento. Bastará un pequeño número de personas con acceso al tremendo poder que ofrece la tecnología para causar desastres que podrían desbaratar nuestra sociedad al completo, especialmente si todo el mundo sabe que esos desastres podrían repetirse en cualquier momento y que no hay forma humana de prevenirlos. El epi-

sodio de los ataques con ántrax en 2001 es un ejemplo de cómo un brote de esta clase, incluso atajado a tiempo, puede llegar a afectar la psique de una sociedad entera. Los medios de comunicación y el nerviosismo colectivo pueden magnificar cualquier temor, gracias a lo conectados e interconectados que estamos. No veo cómo podemos evitar que se produzcan episodios que paralicen completamente a la sociedad, o incluso la hagan desmoronarse. Soy pesimista, porque me da la impresión de que será muy difícil protegernos de este tipo de incidentes. Hace veinte años nos preocupaba la posibilidad de un enfrentamiento entre las superpotencias; en los años noventa eran los levantamientos nacionalistas y los conflictos a menor escala. Ahora nos preocupan los terroristas y otros grupos violentos, y en el futuro nos preocuparán los individuos carentes de escrúpulos y con una mente similar a la de quienes en la actualidad diseñan virus informáticos, pero que pronto tendrán poder para causar un perjuicio muchísimo mayor.

Por todo esto, me deprimo al pensar en qué ocurrirá de aquí a diez o veinte años. Ahora bien, si conseguimos evitar el desastre, entonces estoy de acuerdo con Kurzweil en que el ritmo al que cambiará nuestra vida en los próximos cincuenta años será mucho más rápido que el de los cincuenta últimos.

EPÍLOGO:

RESPUESTAS A *EL NUEVO HUMANISMO*

NICHOLAS HUMPHREY, JARON LANIER, JOSEPH LEDOUX, JOHN HORGAN, TIMOTHY TAYLOR, CARLO ROVELLI, STEVEN JOHNSON, LEE SMOLIN, DOUGLAS RUSHKOFF, PIET HUT, MARC D. HAUSER, MIHALYI CSIKSZENTMIHALYI, DENIS DUTTON, DANIEL C. DENNETT, HOWARD RHEINGOLD, CHRIS ANDERSON

Nicholas Humphrey: Estoy seriamente en desacuerdo con el artículo; en concreto, la identificación que hace de ciencia y optimismo no me resulta convincente en absoluto, por *cualquiera* de estas dos razones:

1. No creo que los científicos esperen (o debieran esperar) que se produzca una expansión exponencial –tipo ley de Moore– de temas interesantes. De hecho, ocurre lo contrario: opino que estamos, o pronto estaremos, a punto de agotar la mina de cuestiones interesantes y profundas. Pronto *tendremos* una "teoría del todo", habremos verificado la hipótesis de Riemann, habremos llegado al fondo de la con-

ciencia, etcétera. Ésta es sin duda la Edad de Oro de la Ciencia; pero la ciencia debe establecer su propio límite, al menos en lo concerniente a las grandes y más serias cuestiones. Sobre esto precisamente escribí en un artículo titulado "Scientific Shakespeare" ["Shakespeare científico"]. En él explicaba que las "artes" siguen teniendo oportunidades que pronto las "ciencias" ya no tendrán. Creo que los científicos deberíamos estar preparados para afrontar –e incluso aceptar humildemente– la próxima fase de la cultura humana, que bien podría ser un retorno al terreno de las artes.

2. No creo que se pueda dar por sentado que los descubrimientos científicos necesariamente hayan de suponer un claro incremento de la felicidad humana, ya sea a través de sus revelaciones sobre el curso de la naturaleza o a través de las herramientas que potencialmente nos facilitan para intervenir en ella. Muchos científicos, desde Bertrand Russell a Jacques Monod o Martín Rees, se han mostrado y se muestran profundamente pesimistas ante la información que la ciencia nos da sobre la dirección en que está encaminado el mundo; y como tema aparte, a muchos sigue preocupándoles el uso que se hará de los descubrimientos científicos, que podría ser, desde armas de destrucción masiva, hasta la eugenesia o el control del pensamiento.

Con esto no pretendo poner en duda el punto principal en el que hace hincapié: que la ciencia es la única jugada posible. Por supuesto que estoy de acuerdo en que hay más esperanza en la ciencia que en ninguna otra cosa. El problema que veo en este artículo es que ya explicaste esto hace años del modo más convincente posible en tu introducción a *La tercera cultura*, y no hace falta repetirlo. De hecho, si yo fuera tú, trataría ahora de enfocar las cosas de una manera totalmente distinta; en lugar de reiterar tu ataque a aquellos intelectuales

de la segunda mitad del siglo XX que viven obsesionados con el grupo de Bloomsbury, creo que deberías prestar atención a cómo han ido quedando marginados (en parte, gracias a sus propios esfuerzos). Del triunfo de la ciencia en la cultura intelectual hay pruebas por todas partes: en la literatura (*Enduring Love* [*Amor perdurable*], de Ian McEwan, por ejemplo); en el cine (*A Beautiful Mind* [*Una mente maravillosa*]); en el teatro (por ejemplo, *Copenhagen*, de Michael Frayn), etcétera. Lo que estamos presenciando es un asombroso cambio, de los viejos valores a los nuevos. Tu artículo, tal como lo presentas, resulta extrañamente paranoico. ¡Ya no hace falta! Has ganado de sobra. Ahora bien, la siguiente tarea es ofrecer una sobria evaluación de la naturaleza de la victoria.

NICHOLAS HUMPHREY es psicólogo teórico en el Centro de Filosofía de la Ciencia Natural y Social, de la London School of Economics, y profesor de psicología en la escuela de postgrado de la New School for Social Research de Nueva York. Entre sus obras se encuentran *A History of the Mind* [*Una historia de la mente*] y *The Mind Made Flesh*.

Jaron Lanier: ¡Bravo, John! Es fundamental el papel que desempeñas en situar a la ciencia más allá de una postura defensiva en respuesta a los ataques de los "posmodernos" y otras sanguijuelas del mundo académico en su lucha por el poder. Aclamas la ciencia y la tecnología como nuestras más pragmáticas expresiones de optimismo.

Me pregunto, no obstante, si basta meramente con señalar hasta qué punto se han perdido esos encostrados intelectuales

de las humanidades y esas artes en su mezquina carrera armamentista de cinismo. Si los científicos y tecnólogos hemos de ser los nuevos humanistas, debemos reconocer que hay cuestiones a las que todo individuo pensante siente la necesidad de dar respuesta y que no suelen están comprendidas en nuestros métodos y diálogos tradicionales. En realidad, tu sitio Web *edge.org* es uno de los pocos foros donde los científicos pueden intercambiar ideas sobre algunas de estas cuestiones.

Quizá sea cierto que una comunidad de científicos se ha convertido en "los nuevos humanistas", pero con eso no basta. Los técnicos tenemos que aprender a hablar de ciertas cosas con mayor sensibilidad, para un público mucho más amplio y cuyas necesidades tal vez a muchos de nosotros nos parezcan sorprendentes; porque, de lo contrario, la posibilidad de ejercer una influencia seguirá, forzosamente, pasando a manos de que cualquier otro grupo más capaz de estar a la altura de las circunstancias.

Si bien los académicos "posmodernos" y los personajes célebres de la "Segunda Cultura" son probablemente los enemigos más insufribles de la ciencia, no son de ninguna manera los más peligrosos. En este momento en que por primera vez hemos empezado a examinar con detalle los fundamentos más esenciales de la biología, nos encontramos en la situación de que grandes sectores de la población culta se han vuelto en contra del proyecto de la ciencia y a favor de populares alternativas más "espirituales" –como por lo general se las anuncia–, y que van desde las meramente insustanciales (como la astrología) a las arcaicas, mezquinas y a menudo violentas ortodoxias religiosas que parecen ir cobrando fuerza en el seno de muchas tradiciones religiosas del mundo. ¿Qué es lo que lleva a cantidades inmensas de gente a caer en la superstición y en la inevitable explotación que de ella se deriva? ¿Qué ha hecho, por ejemplo, que la medicina basada en

la ciencia (a menudo considerada en tono despectivo como mera medicina "occidental" o "alopática") haya perdido hasta tal punto su atractivo para tantas personas inteligentes, cuando ha demostrado ser un triunfo arrollador? Quizá la elite cultural científica no es lo bastante consciente de la tarea que debe asumir si ha de ser su propio abogado defensor. Los críticos de la ciencia posmodernos son en su mayoría simplemente ridículos, mientras que la corriente dominante de enemigos de la ciencia es algo mucho peor: está ganando la partida.

¿Qué significa la palabra "espiritualidad"? Voy a proponer una definición: la espiritualidad de una persona es el ámbito de sus relaciones emocionales con aquellas preguntas a las que no se puede responder. Los científicos y los tecnólogos se mantienen naturalmente alejados de tales preguntas: «¿Qué pasa cuando uno muere?», por ejemplo. Sobre aquello de lo que no es posible hablar, guardamos silencio; hemos hecho las paces con las grandes preguntas que hacen los niños, porque hemos descubierto los límites a nuestra capacidad de responder a ellas. Muchos de nosotros hemos aprendido a vivir con una serie de familiares y eternas lagunas de ignorancia, a pesar de que ocupan el centro de nuestro campo de visión, porque hemos encontrado compensación a nuestras decepciones. Estamos encantados de que el universo pueda comprenderse tan bien y de tantas maneras, y especialmente de haber sido capaces de hacer nuestra contribución personal a esa comprensión. Muchas veces nos quedamos maravillados ante el esplendor que vemos en la naturaleza –esplendor que es más difícil de apreciar para las personas no especializadas. Algunos de entre nosotros incluso han encontrado una u otra clase de fe, pero por lo general es una fe que coincide precisamente con esas lagunas de ignorancia.

Pero de lo que nos olvidamos es de que mucha gente, probablemente la mayoría, no ha tenido en su vida experiencias

que hayan favorecido ese tipo de pactos intelectuales. La mayoría de la gente no está muy dispuesta a aceptar que, desgraciadamente, exista un pequeño enclave de ignorancia –o una incertidumbre que conduce a zonas de fe rigurosamente delimitadas– a cambio de un sólido conocimiento especializado en otras áreas. Existe todo tipo de razones para ridiculizar a los estúpidos personajes de la elite cultural que utilizan el pesimismo de moda para enmascarar su narcisismo. Por favor, riámonos de ellos. Ahora bien, eso no le va a servir de mucho a la inmensa cantidad de gente que siente una sincera preocupación por las grandes preguntas sin respuesta.

Creo que hay un determinado camino cultural que está llevando a mucha gente a dar la espalda a las ciencias, y me gustaría centrarme en él, porque varios miembros de la comunidad edge.org son algunas de sus piezas claves. El guión es éste: hay una científica o tecnóloga muy solicitada por los medios de comunicación debido a su elocuencia para tratar temas de la vida que trascienden los límites del laboratorio. Aparece en televisión hablando sobre cuestiones de interés humano, utilizando el marco intelectual de sus investigaciones. Vamos a suponer que elige plantear las cosas desde el punto de vista de la inteligencia artificial, de la psicología evolucionista o de cualquiera de los restantes marcos intelectuales que niegan el carácter "especial" de la persona a fin de simplificar su labor investigadora. Suele suceder que una idea nacida dentro de ese marco, y que quizá en el laboratorio tenga un propósito válido, no sea muy bien recibida en el mundo exterior. Si esta mujer es, por ejemplo, una investigadora de la inteligencia artificial, quizá mencione de pasada sus cavilaciones sobre si una pareja sin hijos que se sienta sola podría encontrar consuelo en criar a una criatura robótica. Ésta era una idea que recientemente planteaba una popular película de ciencia-ficción, pero también una idea que defendía como posibilidad

razonable y realista un científico del MIT en la National Public Radio.

Dentro de la entendida comunidad científica y tecnológica es posible entablar un pormenorizado debate en torno a ese comentario: es posible preguntarse si de verdad un aparato digital puede acercarse siquiera a la escala de complejidad de un niño real en un futuro significativamente próximo; o alguien podría apuntar que, incluso si el hardware llegara a alcanzar la amplitud y velocidad suficientes, no parece que nosotros seamos capaces de escribir gigantescos programas lo bastante estables, luego como mínimo harían falta una serie de sorprendentes avances en el frente del software. Sin embargo, no es esto lo que ocurre en el ancho mundo no científico. A las personas "sensibles", o "espirituales", por ejemplo, ese comentario puede afectarles hasta el punto de que quizá cancelen sus citas con el médico y opten por unas sesiones de aromaterapia: si los científicos piensan que los robots y los niños son iguales, ¡mal rayo les parta! Cuando la investigadora de la inteligencia artificial equiparó, aunque fuera en un sentido muy restringido, los sistemas informáticos a los seres humanos, sin darse cuenta respondió a algunas de las grandes preguntas de la niñez de un modo concreto. Me temo que el mensaje que el oyente recibe pueda ser algo como: «No sólo no hay alma, ni vida después de la muerte, ni hay nada siquiera remotamente mágico en ti, sino que además yo soy una científica de elite, capaz de ver el interior de tus sistemas de circuitos y de hacer otro espécimen como tú, lo que te convierte de manera sustancial en un ente subordinado a mí».

Las artes y las humanidades (¡y no nos olvidemos de las religiones!) se han enfrentado perpetuamente al reto de complicar lo que es sencillo; de ahí que existan textos académicos absurdamente incomprensibles sobre filosofía y arte. Esto es un poco como el viejo tropo sobre los "cultos a las naves

de carga".* Durante mi formación de compositor, se me hizo estudiar música académica ridículamente arcana que sólo un reducido número de personas era capaz de comprender. Se emulaba la situación de la física con la esperanza de que la elite más acreditada y críptica llegaría a obtener prestigio, presupuestos, e incluso plazas de aparcamiento similares en un futuro cercano. En este caso, ¡el modelo del culto a las naves de carga funcionó!

La ciencia se enfrenta al problema opuesto. La mayoría de los científicos estarían encantados si el elitismo inherente a las disciplinas que se consideran difíciles desapareciera de repente, lo que abriría la puerta a una legión de nuevos colaboradores. Tristemente, no será así. En lugar de ello, tendremos que aprender nuevas formas de mejorar las interacciones entre la comunidad científica y el mundo en general.

Es en este aspecto en el que creo que la Tercera Cultura necesita todavía madurar. La ciencia ha de aprender a comunicar sus limitaciones sin tono de disculpa, como comunica sus puntos fuertes. Y los científicos quizá tengan que aprender a expresar en público cómo a nosotros también nos angustian a veces por la noche las preguntas para las que no hay respuesta.

Joseph LeDoux: Es estupendo buscar alguna clase de fusión entre diversas áreas de estudio, pero tengo la impresión de

* Forma de culto por el que, en la lucha contra el Japón durante la segunda guerra mundial, los indígenas de las islas de Oceanía interpretaban la llegada de barcos y aviones cargados de provisiones para las tropas aliadas como dones sobrenaturales de sus propios antepasados *(N. del E.)*.

que las cosas no son tan en blanco y negro como das a entender en tu artículo. Desde luego que hay una serie de vociferantes "relativistas" en los círculos académicos, pero creo que la mayoría de aquellos que toman parte activa en la cultura (artistas, escritores, músicos) tienen una actitud abierta hacia la ciencia y gran interés en su punto de vista. Desgraciadamente, no es éste el caso de algunos científicos. Es asombrosa la ignorancia y el desprecio por las artes que algunos de ellos llegan a exhibir. A mi entender, esa amplia perspectiva de la cultura que propones va a exigir que también en las ciencias haya cierta expansión de la mente.

JOSEPH LEDOUX es neurocientífico en la Universidad de Nueva York y autor de *The Emotional Brain* y *Synaptic Self*.

John Horgan: Si tu artículo tenía la intención de provocar, obviamente ha triunfado. Pero en realidad es más una especie de anuncio publicitario de *Nike* aplicado a la ciencia que un análisis serio de la relación de la ciencia con las humanidades o la cultura en sentido global. Me recuerda a la retórica de la revista *Wired* (antes de la caída del Nasdaq*), o a la sobrecubierta de los libros sobre el Instituto de Santa Fe en sus aturdidos comienzos. *¡La ciencia al poder!* Es sin duda un rasgo de valentía resucitar esta especie de triunfalismo científico ahora que la burbuja de las empresas punto com ha estallado y el mundo vive sacudido por conflictos que la ciencia tiene muy poca o ninguna esperanza de esclarecer, mucho menos de solucionar.

* Índice bursátil que mide el rendimiento de las empresas tecnológicas *(N. del T.)*

He aquí algunos otros pensamientos airados: dices que los científicos afrontan el "mundo real", al contrario que el reducto de ignorantes humanistas. Me gustaría que hubieras dado nombres concretos, para que pudiéramos evaluar si tus blancos concuerdan de verdad con la descripción de tu historieta. Pero tomemos, por ejemplo, a Judith Butler, que hace un deconstrucción de la identidad sexual y es uno de los chivos expiatorios preferidos de quienes se lamentan de la decadencia de las humanidades. Yo diría que esta mujer está mucho más en contacto con la realidad (nuestra realidad humana) que los teóricos de cuerdas o los cosmólogos inflacionarios. Es cierto que algunos libros de divulgación científica –como la última obra de Edward O. Wilson *The Future of Life* [*El futuro de la vida*]– tratan temas que a cualquier persona seria deberían preocuparle. Pero dime, John, ¿hay algún libro científico cuya lectura sea tan substancial para el ser humano de hoy como, digamos, *Clash of Civilizations* [*El choque de civilizaciones*] de Samuel Huntington?

Muchos libros de divulgación científica de gran popularidad fomentan un escapismo hacia la ciencia-ficción, y van dirigidos especialmente a adolescentes del sexo masculino con problemas de inadaptación social. Sinceramente, ¿qué tiene que ver la cosmología evolucionista de Lee Smolin con el mundo real? ¿O las fantasías de Ray Kurzweil sobre cómo sería vernos transformados en puro software? Yo soy un *geek** de la ciencia, de modo que todas estas cuestiones me resultan entretenidas cuando están bien tratadas, pero por supuesto no puedo culpar a aquellos que no tengan el mínimo interés en

* *Geek:* persona que siente una fascinación, quizás obsesiva, por la tecnología y la informática, y otros temas relacionados, como la ciencia-ficción. Es más un estilo de vida y una forma de ser que una afición concreta por algo poco habitual *(N. del T.)*.

ellas. Afrontémoslo, sería más apropiado considerar los libros de divulgación científica como un minúsculo subapartado de la industria del entretenimiento. Si la gente prefiere leer acerca de la vida sexual de Virginia Woolf –o ver *Friends*, para el caso– que pelearse con *Una breve historia del tiempo* o *Los orígenes del orden*, no creo que nadie debiera sentirse por ello un ciudadano de segunda.

Estoy de acuerdo en que nos beneficiaría a todos que hubiera más gente con una cultura científica. Pero para mí tener "cultura científica" no significa entusiasmarse hasta el paroxismo al enterarse del último "gran avance" de la ciencia, ya se trate de la teoría de branas, los anticuerpos monoclonales o la nanotecnia; significa saber lo suficiente como para distinguir entre los avances genuinos y la exaltación nacida en torno al Prozac, la psicología evolucionista, *Star Wars* o la terapia genética.

La ciencia y la tecnología han enriquecido la vida moderna de innumerables maneras, tanto material como intelectualmente. Pero nuestro encaprichamiento con el progreso por el progreso ha tenido también consecuencias adversas: la contaminación, las armas de destrucción masiva..., la consabida retahíla de pesadillas; y en el siglo pasado se cometieron auténticas atrocidades porque la gente se dejó llevar por modas pseudocientíficas tales como el marxismo, el darwinismo social, la eugenesia y la psicofarmacología. La historia nos enseña que la ciencia tiene limitaciones en cuanto a lo que puede hacer en beneficio nuestro. Esto es realismo, no pesimismo. Y lo último que necesitamos hoy día es otra ideología u otra fe.

JOHN HORGAN es periodista independiente y autor de *Rational Mysticism*; *The End of Science* [*El fin de la ciencia*] y *The Undiscovered Mind* [*La mente por descubrir*].

Timothy Taylor: Admito, por supuesto, que existen en las ciencias sociales algunos de los elementos que John califica de frustrantes (y peor que eso), que, como bocadillos de quita y pon en una historieta, narran una actividad intrascendente e insustancial a la que es una blasfemia haber dado el nombre de erudición. Pero debemos admitir también que se ha hecho una extraordinaria –y a menudo extraordinariamente arrogante– infravaloración de la complejidad de las humanidades por parte de algunos representantes de las ciencias puras que han traspuesto la división entre las artes y las ciencias. Personalmente, no tengo ninguna duda de que profundizar debidamente en la filosofía moral, por ejemplo, exige una formación intelectual más prolongada de la que se necesita para hacer progresos en, digamos, la física del plasma o la genética; no obstante, sé también que algunos físicos y genetistas tienden a no querer admitir esto. No quiero dar a entender que su labor me parezca simple (considero seriamente que no lo es), sino que parte de ella (o mucha de ella quizá) es, desde el punto de vista epistemológico, más sencilla.

Los peligros que corren los científicos al intentar ser los nuevos humanistas se verán más claros con algunos ejemplos concretos. Consideremos a Richard Dawkins; su idea de los "memes" –supuestos homólogos culturales de los genes– no ha sido adoptada en la arqueología, que es precisamente la disciplina en la que hubiera debido triunfar, de haber resultado útil. No es sorprendente (ni supone el menor desprestigio) que un biólogo evolucionista de primera no esté a la altura de las circunstancias cuando se trata de teorizar sobre la transmisión cultural: después de todo, es posible que Richard Dawkins no tenga mayor formación en teoría cultural de la que yo tengo en biología evolutiva. Sin embargo, nos encontramos con un problema si hay gente que, tal vez por falta de conocimientos, cree que los memes han de ser una buena idea, e in-

terpretan la escasez de discusión crítica acerca de ellos como prueba de que el concepto ha sido aceptado.

Siento una preocupación similar con respecto a la formulación de Steven Pinker del "instinto del lenguaje". En teoría, no es una mala idea, pero –aparentemente– en su elaboración se ha ignorado por completo el extenso cuerpo de investigaciones de los lingüistas filosóficos rusos, franceses y alemanes que ha llegado a conclusiones muy diferentes. Es decir, tanto si uno acepta las opiniones lingüísticas de Pinker como si no, lo cierto es que su trabajo ha pasado del marco de la psicología cognitiva a ser foco de la atención pública (y los medios de comunicación en general lo han aceptado como válido) sin haber sido objeto de esa clase de debate humanístico tan decisivamente relevante para determinar o no la validez de sus radicalísimas aseveraciones (como han expresado los seguidores de L.S. Vigotsky, por poner un ejemplo).

Uno tiene que afrontar el espinoso problema de que, con frecuencia, la ciencia popular, bien predica a los conversos, o bien, cuando se adentra en ámbitos más "humanistas", sin darse cuenta hace un espantoso ridículo. Los Estados Unidos tienen una excelente tradición de científicos que escriben para el gran público, pero una proporción peligrosamente creciente de la población nacional –un tercio ya– tiene una noción metafísica en la que no hay cabida para la evolución darwinista, y mucho menos para comprender sus implicaciones. La corriente del creacionismo se ha convertido en los Estados Unidos en una tragedia intelectual de creciente magnitud, y que sólo podrá revertirse cuando haya un mayor respeto –entre los científicos particularmente– hacia el carácter extremadamente sutil e imprevisible de las formaciones sociales y culturales de los seres humanos. Esto exigirá una renovada humildad a la hora de abordar la auténtica complejidad de las fuentes de nuestra conducta. El panorama de una gran nación

ya que deben tener en cuenta que cualquier observador está situado dentro del sistema. En vez de negar la objetividad, este tipo de enfoque la racionaliza, pues ve la raíz de esa objetividad en lo que puede observarse desde los múltiples y diversos puntos de vista, y no en la mítica necesidad de una "realidad última" o en un imaginario punto de vista desde fuera del sistema. Esto hace posible que existan tanto la ciencia –o sea, el conocimiento sin intervención de la autoridad– y la democracia en una sociedad pluralista y multiétnica.

Este nuevo tipo de explicación caracteriza gran parte de la biología moderna, así como recientes modos de abordar los sitemas complejos y autoorganizados, ya sean económicos, sociológicos, físicos o biológicos. En esta categoría entran también los nuevos modos de abordar los fundamentos de la mecánica cuántica, a los que se ha llamado teoría cuántica relacional, y de enfocar las explicaciones en cosmología, tales como la selección natural cosmológica, la noción de observables internos, y de teorías cosmológicas de velocidad de la luz variable.

Creo que eso a lo que John ha llamado la Tercera Cultura y el Nuevo Humanismo tiene, en última instancia, sus raíces en este enfoque pluralista y relacional del conocimiento. Pero la línea divisoria entre los viejos estilos de pensamiento que buscaban verdades absolutas y la nueva actitud pluralista y relacional no es un corte limpio entre las ciencias y las humanidades. Muchos de los debates clave que en este momento animan la ciencia tienen lugar entre científicos cuyas predilecciones filosóficas los colocan en uno u otro lado de esa frontera. Los debates entre los "muchos mundos" y los modos relacionales de abordar la mecánica cuántica, o entre los teóricos de cuerdas y los de la gravedad cuántica de bucles, es claro reflejo de esta división; al igual que lo son las discusiones dentro de la teoría evolutiva sobre el nivel y los meca-

nismos de la selección natural, y las discusiones entre los investigadores informáticos sobre la posibilidad de crear una inteligencia artificial consistente. Al mismo tiempo, hay artistas, filósofos, eruditos, arquitectos y teóricos de leyes cuya obra es una exploración de las repercusiones de esta nueva forma de abordar el conocimiento. Entre ellos están teóricos de leyes como Roberto Unger y Drucilla Cornell, y artistas y escritores tan diversos como Brian Eno y Pico Iyer.

Finalmente se debe mencionar que lo que he llamado una nueva actitud ante el conocimiento tiene raíces muy antiguas. El filósofo del siglo XVII Leibniz era intensamente consciente de que el mundo es un sistema de relaciones, y hace ya un siglo que los pragmáticos americanos (tales como Peirce) afrontaban las implicaciones que el darwinismo tenía para la epistemología y la filosofía en general. (En realidad, la manera más fácil de hacer una división entre los viejos y los nuevos humanistas es preguntar si sus escritos revelan una conciencia de lo radicalmente que la evolución darwinista cambia el marco de cara a la realización de un nuevo trabajo en el campo de la filosofía). Pero el punto de vista global de Leibniz fue dejado de lado en gran medida para abrir paso a la física newtoniana, hasta que fue reavivado en el siglo XX, mientras que los pragmáticos no han tenido la influencia de los deconstrucionistas en la academia americana. Cuando los estudiantes universitarios de humanidades abracen a Peirce y Dewey en lugar de a Foucault y Derrida, y cuando lean a Darwin en vez de a Hegel, podremos decir que el Nuevo Humanismo ha alcanzado la mayoría de edad.

Douglas Rushkoff: He pensando mucho últimamente en los efectos tan duraderos que el modernismo y la ciencia han tenido en la narrativa religiosa. Algunos teóricos de la cultura quizá piensen que nos encontramos en la era de la "posmodernidad", pero nuestros teólogos continúan lidiando con Descartes, Copérnico, Darwin y Freud. El impacto más profundo de la modernidad se traduce en que ya no podemos utilizar la historia como base de nuestros testamentos religiosos: nuestros mitos y nuestros dioses se ven refutados por la realidad científica; con ello perdemos nuestros valores absolutos y el sentimiento de certeza que nos brindaban.

Entran así en escena los posmodernos, desde James Joyce hasta la Music Television, que aprenden a jugar en la casa de los espejos, creando obras y cosmovisiones a partir de relatividades. Resulta, en todos los sentidos, menos satisfactorio (más parecido a un dulzón granizado de frutas que a un tazón de copos de avena calientes que de verdad lo dejan a uno lleno). Los teóricos culturales hicimos lo posible por entender este mundo de autorreferencias; como si eso importara. Con el tiempo, derivó en una cultura de chistes privados, cinismo y desapego. El desapego se consideró guay, y luego "guay" mismo fue reemplazado por la objetificación. Así que nuestros hijos van por ahí emulando a los modelos de un catálogo de Calvin Klein, adoptando afectadas poses toda su vida, como si el ser fotografiado constituyera el máximo logro humano. Aparecer en un anuncio o exhibirse en una valla publicitaria podría transformar a esa persona en un valor absoluto, o sea, en el punto de referencia que otros tomarían para definirse a sí mismos.

Creo, sin embargo, que toda esta cultura de *Feria de vanidades*, empezando por Joan Didion o Tom Wolfe y acabando con David Sedaris o Dave Eggers, ha tocado a su fin. Estamos hartos de vivir en un vacío, esforzándonos por permanecer

desapegados. No es nada divertido leer revistas con los ojos entreabiertos y una cómplice sonrisa de suficiencia. Un día nos damos cuenta de que el desapego es un premio insulso; queremos involucrarnos de verdad en las cosas de la vida. Aquí entra la ciencia; y con ella, una inocente, querida y olvidada admiración. La ciencia no es el poder que corrompe nuestra naturaleza, sino la maravillosa amplitud de visión que nos devuelve a ella. En nuestra cultura del narcisismo, le damos la bienvenida, porque finalmente estamos lo bastante aburridos de nosotros mismos como para interesarnos en algo real. Suspiramos por dejar atrás nuestra estudiada pretenciosidad y rendirnos a esa sensación que tiene un niño cuando está en el Epcot Center o en un planetario.

Uno se queda boquiabierto, con los ojos de par en par, y la mente se abre.

DOUGLAS RUSHKOFF es profesor de cultura mediática en el Programa Interactivo de Telecomunicaciones de la Universidad de Nueva York, y autor de *Cyberia* [*Ciberia*]; *Media Virus*; *Coercion* [*Coerción*] y del reciente libro *Nothing Sacred*.

Piet Hut: Yo también confío en que la ciencia será capaz de resolver cualquier aspecto de la realidad, a su debido tiempo. La única pega es que no tenemos ni idea de cómo será esa ciencia del futuro. Esto significa que podemos estar orgullosos del método científico y de los resultados que se han obtenido hasta el momento, pero deberíamos ser modestos y abstenernos de proclamar que nuestros descubrimientos recientes

prácticamente describen el mundo «como es en realidad». Se puede defender esta postura desde dos perspectivas:

1. Argumento desde el pasado. ¿Se acuerdan de lo seguros de sí mismos que estaban muchos de los físicos más prominentes a finales del siglo XIX? La física fundamental parecía haber atado definitivamente todos los cabos, y, de repente, aparecieron la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica, que planteaban una forma enormemente distinta de entender la realidad física. Hoy día seguimos admirando las grandes contribuciones de gente como Maxwell y Kelvin, pero hemos abandonado completamente la imagen que ellos diseñaron de cómo es el mundo en realidad.
2. Argumento desde el futuro. Imaginen ustedes que viven en el año 100.000 (en una imagen optimista en que la civilización no se ha destruido a sí misma por completo). ¿De verdad les parece creíble que los libros de historia pudieran contar que el desarrollo de la ciencia se produjo durante 500 años, desde Galileo hasta el año 2100 –fecha en que se comprendió la estructura de la realidad–, y que a esto habían seguido 97.900 años de meras notas a pie de página? A mí me resulta extremadamente difícil de creer. Yo diría que es mucho más probable que sigamos encontrándonos con «rostros boquiabiertos, ojos de par en par, mentes que se abren», y no sólo en exposiciones populares, sino también en la frontera misma de la ciencia.

Por estas razones no confío en que la ciencia pueda proporcionarnos una alternativa válida a la visión global del mundo en un futuro cercano. Tanto si buscamos una explicación ética, humanística, religiosa o espiritual del mundo –que incluye nuestra propia presencia–, la ciencia no sabe aún lo su-

ficiente como para responder a esa búsqueda. Tiene más sentido utilizar el método científico para escudriñar el conocimiento que nos ha sido legado a través de los siglos, y a través de él intentar separar, por un lado los dogmas y la parafernalia cultural, y por otro aquello que parece estar mayormente basado en las investigaciones empíricas.

Lo que quiera que descubramos con nuestras herramientas, digamos, en el año 52.003, está actuando ya en el mundo real. Y la pregunta es: desde la posición ventajosa del año 52.003, ¿se verá nuestro conocimiento científico actual como una mayor ayuda para llevar una vida de plenitud que nuestras actuales convicciones religiosas y espirituales? Si extraemos de estas últimas aquello que está más íntimamente relacionado con nuestras experiencias perceptivas de las profundidades de la mente humana, yo diría que éstas nos proporcionarán las herramientas más útiles durante todavía varios siglos.

PIET HUT, profesor de estudios interdisciplinarios en el Institute for Advanced Study de Princeton, es miembro fundador del Kira Institute, grupo interdisciplinario que busca una cosmovisión del siglo XXI que respete y dé un lugar a la ciencia moderna, y que esté basado en la experiencia humana. Se cuenta entre sus actividades una escuela anual de verano para estudiantes adelantados del campo de las ciencias y otras áreas relacionadas, tales como filosofía, historia, y sociología de la ciencia.

Marc D. Hauser: Leí *Los nuevos humanistas* con interés, pero, la verdad, creo que has hecho una caricatura, tanto de

los humanistas como de los científicos. Por alguna razón has llegado al convencimiento de que los objetivos de los humanistas deberían estar más estrechamente alineados con los de la ciencia. Yo creo que es un error. Creo que el fallo de tu artículo es que, en tu intento de exponer cómo los científicos han absorbido los puestos que durante tanto tiempo habían ocupado los humanistas, en realidad has creado cierta confusión en cuanto a dos importantes cuestiones.

El primer aspecto concierne a lo que cualquier intelectual que se precie debería saber acerca del mundo. Dices, y estoy de acuerdo con ello, que uno no puede ser un miembro culto de la especie *Homo sapiens* sin tener un conocimiento de las ciencias. Lo que los nuevos humanistas, como los llamas, han hecho es abrir la puerta que conduce a algunos de los misterios de la ciencia, al poner a disposición del público dicha información. Hacer que la información sea accesible es, por supuesto, lo mejor. Podría objetarse, y yo lo he hecho a veces, que los científicos difunden en ocasiones fragmentos de información de un modo que resulta casi maliciosamente irresponsable. Pero ésa es otra historia. Volviendo al punto principal, estoy plenamente de acuerdo en que vivir en una lamentable ignorancia de las ciencias es como quedarse a las puertas de una vida intelectual; pero bien podría acusar igualmente a muchos científicos de permanecer en una lamentable ignorancia de las humanidades. Con frecuencia me dejan perplejo y espantado los científicos que apenas han leído a los clásicos de la literatura, que saben muy poco de historia, que se empeñan en ignorar las penetraciones de la filosofía. Si señalamos con el dedo, ha de ser en ambas direcciones.

Esto nos trae al segundo aspecto, que lamentablemente está fusionado con el primero. Al parecer, sugieres que las humanidades deberían tener los mismos, o al menos similares, objetivos que las ciencias. Aplaudes a aquellos humanistas que

piensan como científicos y señalas con severo dedo de institutriz a aquellos que no lo hacen. Las humanidades pueden y deberían tener distintos objetivos. Tomemos como ejemplo la filosofía. Aunque personalmente tengo una gran afinidad con los filósofos empíricos, como Dennett, Fodor, Block, Sitch y Sober, también disfruto leyendo escritos de filosofía de la ética, que juega con interesantes dilemas morales (de la fantasía), de filosofía del lenguaje, que presenta interesantes tergiversaciones de significados y metáforas, y de filosofía de la mente, que simplemente le hace uno pensar acerca de posibles mundos. Muchos de estos debates filosóficos ignoran explícitamente el trabajo empírico, puesto que no es su misión fundamental. No creo que esto sea malo en absoluto. Es saludable. Hay espacio más que suficiente para que los científicos hagan su trabajo, y los humanistas el suyo, y para que los unos y los otros interactúen. Estoy de acuerdo en que el terreno más fértil es el de la interfaz, ¡pero esto es cuestión de gustos!

Dos aspectos secundarios:

1. Aseguras que la ciencia es un sistema abierto. Creo que estás muy equivocado. La ciencia tiene importantes limitaciones: aunque ciertamente podría "avanzar", se ve a menudo constreñida por paradigmas dominantes, y a menudo dominada por individuos particularmente poderosos. Hay además restricciones éticas, como se ha visto recientemente en los acalorados debates en torno al uso de la información del Proyecto del Genoma Humano para explorar cuestiones biomédicas relacionadas con los antecedentes étnicos.
2. Sobre la ciencia, la información y la cuantificación. El contraste con la ley de Moore, a mi entender, falla. Nunca he oído a un científico dar importancia a la cantidad de in-

formación. No hay duda de que existen en la actualidad más publicaciones periódicas que en ningún momento del pasado, y todos nos quejamos de lo difícil que es seguirles el ritmo. Pero prefiero considerar que la ciencia cambia como resultado de ideas radicalmente nuevas que abren la puerta a la investigación de los problemas de formas nuevas y apasionantes, y no que el motivo es obtener más información simplemente. Cada nuevo cambio de paradigma transforma la partida. Sí, es cierto que hay más información, pero es la información nueva, guiada por un nuevo paradigma, la que de verdad interesa. Cuando Darwin nos ofreció su destello de intuición, dio un giro a la vida de los seres humanos y les hizo contemplar los problemas bajo una nueva luz. Claro que supuso una mayor información, pero lo importante no era la cantidad. Y algo parecido sucedió con la intuición de Noam Chomsky sobre la estructura del lenguaje, que generó inmensas series de datos sobre las similitudes entre las lenguas. Esencialmente, nos dio una nueva forma de buscar nueva información; una vez más, no era la cantidad lo importante.

Mihalyi Csikszentmihalyi: Sí, John, comparto tu casi irritación ante lo que pasa por erudición en el campo de las humanidades y las ciencias sociales. Su aislamiento del resto del mundo, su autocomplacencia, sus maniáticos vaivenes y círculos culturales endogámicos no son un espectáculo agradable. Pero ¿es esta situación debida a la perversidad de los humanistas, o se trata de una enfermedad pasajera que en estos precisos momentos resulta afectar a las humanidades? Pare-

ces culpar de ella sobre todo a los individuos implicados, mientras que yo me inclinaría a situar la raíz del problema en la forma como se han practicado las humanidades a lo largo de las últimas generaciones.

El cometido de las ciencias es explorar, descubrir, y crear nuevas maneras de contemplar el mundo y nuevas maneras de controlar los procesos físicos. Una parte de esto le será útil a la humanidad; otra –los residuos nucleares, los gases causantes del efecto invernadero, los cambios genéticos– bien podría ser nuestra perdición. Sin embargo, debido a que toda cultura (la primera, la segunda, la tercera...) tiende a instaurar su hegemonía y valora los dogmas, se ha de hacer ver que la ciencia es íntegramente beneficiosa. A la vez es cierto, como dices, que los senderos de la ciencia y de su seductora hija, la tecnología, son apasionantes para quienes participan de esa aventura.

Lo que esperamos de las humanidades es muy distinto; no es la producción de lo novedoso, sino la selección, la evaluación de lo que es importante, útil (¿me atrevería a decir "bueno"?), y luego la transmisión de los logros humanos seleccionados a la siguiente generación. Y a la siguiente. El papel de las humanidades, por tanto, es conservador; enlaza el presente y el futuro, sin perder de vista el pasado. Como sabes, no puede haber evolución sin que actúe el mecanismo de tamizado que separa las innovaciones que mejoran la vida de otras innovaciones inferiores: el hecho en sí de producir novedades no conduce a una optimación; y contribuir a este proceso debería ser el papel de las humanidades.

Claro está que, por lo general, las humanidades han abandonado esta tarea. ¿Por qué? Seguro que hay muchas razones, pero una de las principales es que se han aplicado a las humanidades los mismos criterios que son válidos para las ciencias. Se contrata, y promociona, a profesores adjuntos de filosofía o

de inglés basándose en la "originalidad" de sus aportaciones, lo cual les obliga a ingeniar llamativas novedades en vez permitirles reflexionar sobre lo que es valioso y permanente. A los especialistas jóvenes no se les premia por ser buenos humanistas, sino por aplicar a los textos el enfoque "explora, descubre, crea", en un intento de imitar superficialmente a las ciencias. Si hay alguien a quien culpar, es el reciente éxito de las ciencias lo que ha ayudado a corroer la singularidad de las humanidades.

El ámbito de las humanidades está en apuros. No obstante, es menor la diferencia entre "científicos" y "humanistas" que entre las estructuras institucionales y los sistemas sociales de recompensa dentro de los cuales operan ambos grupos. Como bien mencionas, hay actualmente humanistas que piensan al estilo de los científicos. Probablemente sea cierto también que el número de científicos que se adhiere a una perspectiva provinciana, que decide ignorar las repercusiones a largo plazo de su trabajo, que desdeña a todo el que no pertenece a su círculo, es al menos igual de alto que el de aquellos humanistas que viven sumidos en la ignorancia. La diferencia es que los científicos hacen un trabajo valorado por la mayoría, y los humanistas no.

La solución que yo daría a este problema es en algunos sentidos la opuesta a la tuya: las humanidades necesitan descubrir su verdadera vocación y mantenerse fieles a ella. Pero, por supuesto, esto significa también que, para poder evaluar, seleccionar y transmitir un conocimiento valioso, el humanista debe estar familiarizado con los productos de la ciencia y comprender sus implicaciones. Quizá en la actualidad no le sea posible al artista estar a la vanguardia de la ciencia, como lo estuvo Leonardo da Vinci, pero la insularidad de ambos campos debería disminuir. Si parten de una fuente común de conocimiento, ambas áreas de estudio pueden entonces proseguir hacia sus respectivas metas.

MIHALYI CSIKSZENTMIHALYI, anteriormente jefe del Departamento de psicología de la Universidad de Chicago, ocupa la cátedra Davidson de administración de empresas en la Claremont Graduate University, y es autor de *Flow [Fluir]*; *Finding Flow [Aprender a fluir]; The Evolving Self; Creativity [Creatividad];Beyond Boredom and Anxiety*, y *Good Business.*

Denis Dutton: Quizá resulte tentador concluir que está pasado de moda el triunfo de tus Nuevos Humanistas sobre la decadente erudición que se ha considerado humanismo académico durante las últimas generaciones. Pero tu tesis necesita reiteración y elaboración. Pone el dedo en la llaga, en gran parte porque cuentas cómo se han labrado y han sido recompensadas vidas profesionales enteras durante el siglo pasado, y cómo se emprenderá la búsqueda organizada de conocimiento en el siglo que tenemos por delante.

No podemos especificar *por* qué abogan los nuevos humanistas sin antes tener alguna noción de que *contra* qué están. Las humanidades como disciplinas académicas, y los estudios de cultura y las artes en particular, no tienen ningún porvenir. Ya sería suficientemente penoso que estuvieran moribundas, pero, peor aún, se han convertido en el hazmerreír general. La reunión anual de la Modern Language Association es ya un blanco típico de algunos sagaces periodistas que buscan la ocasión de bajarles los humos a sus pomposos y ridículos participantes; prolifera en ella una jerga irrisoria, y la tendenciosidad política ha reemplazado a la sutil percepción estética en lo que modestamente solía llamarse crítica literaria.

Las razones sociales por las que las humanidades tradicionales se han separado del resto del pensamiento creativo, productivo, son complejas. Cualquiera que haya dado clases en una universidad sabe lo difícil que es hacer que los estudiantes lean las largas novelas que solían ser el eje de los planes de estudios de los departamentos de inglés y literatura; es más fácil cambiar de nombre a un área y llamarla "estudios culturales" y sustituirlas por películas y telenovelas. La superficialidad de los debates de la cultura popular exige que estén disfrazados con una jerga impenetrable. Si bien nadie negaría la necesidad de un vocabulario técnico en campos como la genética, la neurociencia o la física, la jerga que encontramos en los estudios culturales del ámbito académico se ha convertido en una cortina de humo que encubre la falta de reflexión; es como *el traje nuevo del emperador*.

Las humanidades han adoptado esa jerga en un intento de imitar a las ciencias, aunque sin comprender la auténtica naturaleza del pensamiento científico; en otros sentidos, han rechazado consciente y dogmáticamente el modelo científico en su totalidad. En cualquier caso, el resultado, como bien dices, es que los académicos de humanidades «se automarginaron hasta tal punto que perdieron toda posibilidad de contacto directo con la acción». La célebre frase de E.M. Foster «*Only connect*» se ha convertido en el engañoso eslogan de gran parte de la investigación académica en el campo de las humanidades. Engaña, porque el pensamiento productivo hace tantísimo más que "únicamente conectar" una cosa cualquiera con cualquier otra. En el campo de la ciencia, establecer conexiones exige hacer uso de la observación para descubrir los mecanismos que yacen bajo la experiencia y la producen: esto implica tener que desechar algunas clases de conexión (mi signo astrológico con mi personalidad) y analizar otras a fondo (mi constitución genética y el color de mis ojos). La cien-

cia avanza gracias al uso del experimento y la observación, pues a través de ellos aprende qué conexiones vale la pena estudiar y cuáles no merecen dedicación alguna.

El motivo de que la deconstrucción alcanzara tal popularidad como metodología humanística es que daba rienda suelta a la actitud de "con conectar basta". Dado que esas conexiones se establecen entre palabras e ideas, las humanidades se convierten de ese modo en un sistema cerrado en el que cualquier conexión –simbólica, metafórica, por más caprichosa que sea– es posible y válida. El sistema está a salvo de toda regulación o limitación externa: realmente, todo sirve. Por lo tanto, estás en lo cierto al decir que las humanidades literarias se han vuelto autorreferenciales, no sólo en el sentido de que hacen referencia constante a su propia historia, sino también en el de que no admiten ninguna comprobación con respecto a los estándares de realidad externos. De esto nace, tanto su vacuidad (de ahí su delirio por la jerga), como sus cansinas alusiones a la autoridad (la mención de nombres importantes como referencia, que reemplazan al razonamiento en la erudición) y la tendencia a politizar cuestiones (sabiendo quién es la víctima, se sabe quién es el opresor) a fin de imbuirlas de un carácter de importancia.

Mientras los fuegos artificiales de baratillo de los "años de teoría" humanísticos silban y chisporrotean, tus Nuevos Humanistas ofrecen de verdad un resurgir del pensamiento creativo, fructífero, a todo aquel que quiera comprender mejor la naturaleza de la raza humana. La clase de ciencia por la que abogas se apoya en una realidad que existe con total independencia: el universo físico y biológico (evolucionado) tal cual es; independiente de la voluntad humana, incluidas las ilusiones de los profesores ingleses. Ni siquiera a la hora de contemplar los logros sociales y culturales de la historia de la humanidad debemos forzosamente adoptar una visión de

"construccionismo social" del mundo humano. Es un hecho histórico que los seres humanos han encontrado innumerables modos de construir estructuras sociales y políticas e infinitos medios de expresión artística; pero es igualmente cierto que la historia y la antropología han revelado una universalidad de las tendencias humanas, en cuanto a sociedades y arte, y que el descubrimiento de estos universales no es un constructo social más, sino que tiene en principio un estatus epistemológico equivalente al de los descubrimientos de la astronomía o de la genética. Puede que sea más difícil contar valores y tendencias humanos universales que contar planetas, pero eso no significa que sea absurdo o imposible.

Sí, por fin se nota algo nuevo en el ambiente, después de dos o tres generaciones en las que la erudición humanística se ha dejado el pellejo. Tú lo llamas "realidad biológica de la mente". Es una visión nueva de la humanidad que toma lo mejor de la física, de la bioquímica, de la investigación y la teoría evolucionistas, de la genética, la antropología e incluso la filosofía seria, y está deseosa de encontrar una base experimental y empírica a sus conclusiones generales. Es, francamente, apasionante. Y lo mejor de todo: no ha hecho más que empezar.

DENIS DUTTON, filósofo, es fundador y editor de la prestigiosa publicación Web *Arts & Letters Daily* (aldaily.com), profesor de filosofía del arte en la Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda, prolífico escritor de ensayos de estética, y editor de la revista *Philosophy and Literature*.

Daniel Dennett: Con agrado me sumo a esta danza con la que celebra su victoria la Tercera Cultura, y estoy de acuerdo con la mayor parte de lo que expones en tu artículo, pero comparto también algunos de los temores aquí expuestos, y quisiera añadir varios que personalmente tengo.

Como sugiere Nick Humphrey, deberías abandonar ya tu paranoia. Has –hemos– ganado; y como suele ocurrir, existe el peligro de dilapidar el botín e ignorar algunos de los conflictos que ha creado o exacerbado la victoria. Coincido con Mihalyi Csikszentmihalyi en que la problemática situación en la que se encuentran hoy día las humanidades se debe en gran parte a una inapropiada envidia de la ciencia, a los desatinados intentos de que las humanidades se parezcan a las ciencias naturales. Y como dice Marc Hauser, tu artículo contiene realmente algunas autocomplacientes caricaturas.

Al contrario de lo que comentas, sí que hay en la ciencia "sistemas" y "escuelas", exactamente igual de despiadadas a la hora de reprimir la herejía que sus equivalentes en el campo de las humanidades. Abundan en la ciencia doctrinas y autoridades que le han sido legadas y que uno cuestiona a riesgo de ser tachado de loco o algo peor; y por cada joven erudito humanístico que escribe memeces formulistas a la moda, hay varios jóvenes científicos que, sin el menor sentido crítico, practican una ciencia de recetario, dedicándose a rellenar los espacios en blanco de bases de datos que nadie consultará jamás. Tengo entendido que, según la ley de Sturgeon, el 95% de cuanto se hace es una porquería; y aunque yo me inclinaría a ajustar el porcentaje a un 50%, más o menos –supongo que soy un blandengue–, a mi entender, ese porcentaje (cualquiera que sea) no es manifiestamente más bajo en la neurociencia que en la teoría literaria. No cometas el error de comparar algunos de los mejores ejemplos de un lado con los peores del otro. La regla de Hebb –«si no vale la pena hacer algo, no vale la pena

hacerlo bien»– podía haber dejado a muchos científicos en el paro lo mismo que a sus, también simuladamente afanosos, colegas de las humanidades.

Es una carretera de doble sentido. Cuando los científicos deciden "zanjar" las arduas cuestiones de ética y significado, por ejemplo, lo único que normalmente consiguen es hacer el ridículo; y se debe a una sencilla razón: son inteligentes, pero ignorantes. El motivo por el que los filósofos dedican tanto tiempo y energía a examinar minuciosamente la historia de su campo es que buena parte de la filosofía está constituida por *errores muy seductores*, y la única manera de no cometerlos una y otra vez es estudiando cómo los grandes pensadores del pasado se dejaron engañar por ellos. A los científicos que creen que el estar al día en sus conocimientos de la ciencia los hace inmunes a las ilusiones que arrastraron a Aristóteles, Hume, Kant y otros a tales problemas, les espera un brusco y desagradable despertar.

Howard Rheingold: Dado que las proposiciones científicas han de ser verificables, y dado que, en última instancia, los enfoques encontrados del humanismo y la ciencia se traducen en cómo influyen estas dos formas de saber en nuestras vidas, propongo someter a examen el papel que el entendimiento científico desempeña en los asuntos humanos: ¿puede la ciencia mejorar la vida de la mayoría de quienes vivimos hoy día en el mundo, y de nuestros descendientes, comprendiendo para ello la naturaleza de la cooperación con la misma hondura con la que los físicos comprenden la materia, y los biólogos los procesos de la vida y la evolución?

Sospecho que si esta pregunta, por encima de cualquier otra, no encuentra pronto alguna clase de respuesta, es probable que todas las demás cuestiones se vuelvan muy discutibles. Incluso si estipulamos el advenimiento de una singularidad tecnológica al estilo de Vemor Vinge y Ray Kurzweil de aquí a varias decenas de años, ¿quién no tiene hoy día al menos una duda razonable sobre si la inteligencia de las máquinas madurará lo bastante aprisa y podrá ejercer su dominio lo bastante pronto como para impedir que la inteligencia humana se haga trizas a sí misma con sus propias creaciones?

Planteo esto, no como pregunta filosófica, sino científica. Indudablemente, el intento de aplicar métodos científicos a las psiques, sociedades, mercados y civilizaciones ha tenido hasta el momento menos éxito que la investigación científica de la naturaleza del cosmos, la materia y la vida misma. ¿Significa esto que el átomo o el ADN de la cooperación, el elemento fundamental del bien humano colectivo, es por siempre jamás inaprehensible, quizá en un sentido heisenberguiano, godeliano, zen? ¿O significa que el actual conocimiento científico de la cooperación y el conflicto humanos sigue siendo inadecuado? Ésta es una pregunta clave, pues sabemos que, de hecho, la ciencia abandonó por inadecuadas sus antiquísimas maneras de entender el mundo físico cuando, hace siglos, a raíz de los descubrimientos de Descartes, Newton, Galileo y Bacon, nacieron los "nuevos métodos" de investigación racional, empírica. ¿Está el comportamiento social humano fuera del alcance de lo que la ciencia puede comprender, o es que la ciencia simplemente necesita ponerse al día?

No hace falta exponer ningún argumento para que cualquiera que siga de cerca los sucesos del mundo se dé cuenta de lo urgente que es encontrar una forma de pensar nueva, seria, en cómo resolver los problemas del genocidio, la guerra, el terrorismo, el asesinato, la agresión: la violencia del conflicto hu-

mano a todas las escalas. Tradicionalmente, la disertación sobre este aspecto de la naturaleza humana ha sido tarea exclusiva de las humanidades. No obstante, ¿puede algún científico afirmar con certeza que esta clase de cuestiones estará para siempre fuera del alcance de la indagación científica? Las investigaciones sobre la naturaleza de la enfermedad vagaron durante siglos entre la teoría sin base empírica y la superstición. Cuando la óptica y la experimentación hicieron posible descubrir lo que se concretaría en la teoría de los gérmenes como causa de la enfermedad, el descubrimiento y la aplicación del conocimiento científico aliviaron directamente el sufrimiento humano.

Diversos experimentos biológicos y económicos, que han empleado la teoría de juegos y algunas teorías sociobiológicas sobre el comportamiento de los organismos, han permitido conocer una serie de características generales en cuanto a la cooperación de los organismos vivos en general, y humanos en particular. La utilización de simulaciones informáticas de El Dilema del Prisionero y otros "juegos de bienes públicos" y la aplicación de dichos juegos a sujetos humanos ha empezado a proporcionarnos las primeras piezas del rompecabezas de la evolución que ha seguido la cooperación hasta el momento presente (y lo que es más relevante aún, también algunas pistas de cómo puede evolucionar en el futuro). Los estudios sociológicos sobre el modo en que algunos grupos administran satisfactoriamente los recursos comunitarios han aclarado varias características generales de los grupos cooperativistas. Recientes estudios financieros de los mercados *on-line* han revelado el poder de los sistemas de reputación; y los análisis de redes sociales, la economía experimental y la teoría de sistemas adaptativos complejos ofrecen todos pruebas relevantes. La evolución de la cooperación social, favorecida por la evolución de las

tecnologías, ha sido el sujeto de las metateorías de la evolución social.

El rompecabezas entero de cómo grupos de diferentes tamaños acuerdan cooperar, de cómo y por qué la cooperación se rompe, surgen los conflictos, se intensifican y se resuelven, sigue siendo muy difícil de completar. Pero hay piezas de este rompecabezas que, desde una docena de disciplinas distintas, empiezan a encajar unas al lado de otras hasta revelar patrones más amplios. Parte de la actual falta de entendimiento sea quizá resultado de la especialización de las investigaciones científicas: hace muy poco que biólogos, economistas, psicólogos, sociólogos, antropólogos, teóricos de juegos, investigadores informáticos y de las ciencias políticas han empezado a sospechar que cada uno de ellos tiene en su haber piezas del mismo rompecabezas. A quienes estudian la cooperación, la reputación y el conflicto les ha llevado bastante tiempo darse cuenta de la necesidad de una síntesis interdisciplinaria.

En el examen propuesto, las oportunidades reales que la ciencia tiene de poder hacer lo que las humanidades han intentado durante años, dependen de si alguien unifica los recursos e impulsa una actitud organizativa para desarrollar un proyecto a gran escala, interdisciplinario, dirigido a comprender la cooperación. A diferencia de lo que ocurre cuando hay necesidad de un conocimiento que permita la fabricación de nuevas armas, nuevos medios de comunicación o nuevas medicinas, no hay en la actualidad ninguna estructura organizativa o económica destinada a apoyar un Programa Apolo de la cooperación. Claro está, que ni siquiera el proyecto mejor organizado y financiado puede ofrecer garantías de que exista una respuesta, o de que no vaya a necesitar un siglo para descubrirla. Las consecuencias del fracaso podrían ser, o no, el final de todas las culturas, pero si la investigación científica tiene éxito y logra esclarecer la naturaleza y dinámica de

la cooperación social, habrá demostrado la superioridad de su vía de saber cómo mejorar la forma de vida de la mayoría de la gente. Curar enfermedades fue extraordinario. Curar el conflicto sería la prueba.

HOWARD RHEINGOLD es teórico de comunicaciones. Entre sus obras se encuentran *The Virtual Community* [La comunidad virtual: una sociedad sin fronteras] y *Smart Mobs* [Multitudes inteligentes].

Chris Anderson: Para empezar, el filósofo que hay en mí sospecha que el lenguaje ha creado cierta confusión en este debate. Tanto Marc Hauser como Mihalyi Csikszentmihalyi califican tu artículo de defensor de la causa de "científicos" sobre "humanistas"; pero yo entiendo que en realidad lo que explicas es que a los científicos de la Tercera Cultura se les han unido ahora nuevos e inteligentes pensadores del campo de las humanidades, y que juntos pueden hacer valer su derecho a ser llamados "humanistas".

Se me ocurren por tanto dos preguntas:

1. ¿Estás seguro de querer utilizar el término "humanista" como pancarta bajo la que reunirse? En su controvertida conferencia en TED* en 2002, Richard Dawkins apuntó que ese término lleva inherente algo semejante a un "especie-ismo" contrario a algunas de las más profundas percepciones de la revolución de la Tercera Cultura: es ver-

* Technology, Entertainment, Design *(N. del T.)*.

dad que los seres humanos somos especiales, pero aun así formamos parte de un proceso evolutivo mucho mayor, alucinantemente complejo que (en tus propias palabras) se encuentra en una fase temprana. La pancarta "ateo", la preferida de Dawkins, tiene también sus problemas. (¿Por qué usar un término negativo para definir algo que es profundamente positivo?) Si el objetivo es hacer referencia a Miguel Ángel y a Leonardo da Vinci, ¿por qué no "pensador renacentista"? Este foro sería de hecho el lugar idóneo para que se propusieran posibles términos como alternativa: ¿"racionalista"?, ¿"universalista"?... El bagage histórico es grande, mires a donde mires.

2. ¿Cuánto puede avanzar la revolución sin que los "humanistas" encuentren algo con lo que sustituir el papel de la religión? ¿Has considerado la posibilidad de que el instinto religioso, y el consiguiente comportamiento religioso colectivo, hayan formado parte de nuestra especie desde el primer instante en que fuimos seres sintientes? Porque si así fuera, el suponer, como hacen algunos científicos, que el nuevo marco intelectual del que en estos momentos disponemos significa que podemos abandonar la religión, tal vez sea igual de erróneo que la creencia, ahora desacreditada, de que las culturas pueden simplemente reinventar normas sexuales y morales. Quizá en la mayoría de las sociedades sencillamente se necesite la expresión religiosa como parte de ser humano. Lo interesante es que la ciencia, o al menos el impresionante y misterioso mundo que la ciencia ha desvelado, es capaz de desempeñar ese papel. Como dice Douglas Rushkoff: «Uno se queda boquiabierto, con los ojos de par en par, y la mente se abre». Pero hasta el momento, lo habitual es que esto lo experimente el individuo solo. No existe ningún local donde pueda celebrarse en grupo el misterio de nuestro planeta y

nuestro universo. La idea misma resulta embarazosa. Sin embargo, sin esa experiencia colectiva es posible que la llamada de la iglesia, la mezquita y la sinagoga sea demasiado poderosa como para que la revolución en la que crees llegue nunca a ser más que la convicción de una selecta minoría. Howard Rheingold pregunta si la ciencia es capaz de resolver el problema de la "cooperación". Es una pregunta clave. Pero quizá aún más importante es si será capaz jamás de *inspirar* cooperación.

CHRIS ANDERSON, de formación filosófica, es presidente y anfitrión de la Conferencia TED celebrada cada año en febrero en Monterey, California.

LECTURAS RECOMENDADAS

John Brockman

The Next Fifty Years: Science in the First Half of the Twenty-First Century (Vintage, 2002) [*Los próximos cincuenta años: el conocimiento humano en la primera mitad del siglo XXI*, Editorial Kairós, S.A., 2004]

The Third Culture: Beyond the Scientific Revolution (Simon & Schuster, 1995) [*La tercera cultura: más allá de la revolución científica*, Tusquets Editores, 1996]

Rodney Brooks

Flesh and Machines: How Robots Will Change Us (Pantheon Books, 2002) [*Cuerpos y máquinas: de los robots humanos a los hombres robots*, Ediciones B, S.A., 2003]

Andy Clark

Natural-Born Cyborgs: Why Minds and Technologies Are Made to Merge (Oxford University Press, 2003)

Being There: Putting Brain, Body, and World Together Again (MIT Press, 1997) [*Estar ahí: cerebro, cuerpo y mundo en la nueva ciencia cognitiva*, Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1999]

Helena Cronin

The Ant and the Peacock: Altruism and Sexual Selection from Darwin to Today (Cambridge University, 1992) [*La hormiga y el pavo real*]

Daniel C. Dennett

Freedom Evolves (Viking, 2003) [*La evolución de la libertad*, Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 2004]

Kinds of Minds: Towards an Understanding of Consciousness (Basic Books, Science Masters Series, 1996) [*Tipos de mente: hacia una comprensión de la conciencia*, Editorial Debate, 2000]

Darwins's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life (Simon & Schuster, 1995) [*La peligrosa idea de Darwin: evolución y significados de la vida*, Círculo de Lectores, S.A., 2000; Galaxia Gutenberg, 2000]

ConsciousnessExplained (Little, Brown, 1991) [*La conciencia explicada: una teoría interdisciplinar*, Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1995]

David Deutsch

The Fabric of Reality: The Science of Parallel Universes –and its Implications (Penguin, USA, 1998) [*La estructura de la realidad*, Editorial Anagrama, 2002]

Jared Diamond

Guns, Germs and Steel: The Fates of Human Societies (W.W. Norton, 1999) [*Armas, gérmenes y acero: la sociedad humana y sus destinos*, Editorial Debate, 1998]

Why Is Sex Fun? The Evolution of Human Sexuality (Basic Books, Master Minds Series, 1998) [*¿Por qué es divertido el sexo?*, Editorial Debate, 1999]

Darwin Alive: Surviving the Unabomber (Free Press, 1997)

The Muse in the Machine: Computarizing the Poetry of Human Thought (Free Press, 1994)

Mirror Worlds: Or the Day Software Puts the Universe in a Shoebox –How It Will Happen and What It Will Mean (Oxford University Press, 1991)

Alan Guth

The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins (Perseus, 1997) [*El universo inflacionario: la búsque-*

da de una teoría sobre los orígenes del cosmos, Editorial Debate, 1999]

Marc D. Hauser

Wild Minds: What Animals Really Think (Henry Holt, 2000) [*Mentes salvajes: qué piensan los animales*, Ediciones Granica, S.A., 2002]

Stephen M. Krosslyn

Psichology: The Brain, the Person, the World (con Robin S. Rosenberg) (Allyn & Bacon, 2000)

Image and Brain: The Resolution of the Imagery Debate (MIT Press, 1994)

Wet Mind: The New Cognitive Neuroscience (Free Press, 1992)

Ray Kurzweil

The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence (Viking, 1999) [*La era de las máquinas espirituales*, Editorial Planeta, S. A.,1999]

The Age of Intelligent Machines (MIT Press, 1992) [*La era de las máquinas inteligentes*]

Joseph LeDoux

Synaptic Self: How Our Brains Become Who We Are (Viking, 2002)

The Emotional Brain: The Mysterious Underpinnings of Emotional Life (Simon & Schuster, 1996) [*El cerebro emocional*, Editorial Planeta, S.A., 2000]

Marvin Minsky

The Society of Mind (Simon & Schuster, 1987) [*La sociedad de la mente*, Alianza Editorial, S.A.]

Hans Moravec

Robot: Mere Machine to Transcendent Mind (Oxford University Press, 1998)

Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence (Harvard University Press, 1998)

Steven Pinker

The Blank Slate: The Modern Denial of Human Nature (Viking, 2002) [*La tabla rasa: la negación moderna de la naturaleza humana*, Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 2003]

Words and Rules: The Ingredients of Language (Basic Books, Science Masters Series, 1999)

How the Mind Works (W.W. Norton, 1997) [*Cómo funciona la mente*, Ediciones Destino, S.A., 2004]

The Language Instinct: How the Mind Creates Language (William Morrow, 1994) [*El instinto del lenguaje: cómo crea el lenguaje la mente*, Alianza Editorial, S.A., 1996, 2005]

Martin Rees

Our Final Hour: A Scientist Warning: How Terror, Error and Environmental Disaster Threaten Humankind's Future in This Century –On Earth and Beyond (Basic Books, 2003) [*Nuestra hora final: ¿será el siglo XXI el último de la humanidad?*, Editorial Crítica, 2004]

Our Cosmic Habitat (Princeton University Press, 2001) [*Nuestro hábitat cósmico*, Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 2002]

Just Six Numbers: The Deep Forces That Shape the Universe (Basic Books, Science Masters Series, 1999) [*Seis números nada más*, Editorial Debate, 2001]

Before the Beginning: Our Universe and Others (Perseus, 1997) [*Antes del principio: el cosmos y otros universos*, Tusquets Editores, 1999]

Lee Smolin

Three Roads to Quantum Gravity (Basic Books, Science Masters Series, 2001)

The Life of the Cosmos (Oxford University Press, 1997)

Richard Wrangham

The Demonic Males: Apes and the Origins of Human Violence (with Dale Peterson) (Houghton Mifflin, 1996)

En *El nuevo humanismo* el escritor y editor John Brockman plantea que los saberes de los intelectuales más vanguardistas del momento (los científicos) han dado nacimiento a una "tercera cultura"; una síntesis multidisciplinar donde la palabra "humanismo" recupera el sentido de intelectualidad global y conciencia holística que tuvo en el pasado. Son estos "nuevos humanistas" quienes, al combinar ciencias y letras, conforman en la actualidad la vanguardia del pensamiento moderno.

Brockman ha reunido en este volumen algunos de los escritos de los científicos más punteros de la actualidad: el geógrafo Jared Diamond, el psicólogo y lingüista Steven Pinker, el físico David Deutsch, el filósofo Daniel C. Dennett, el astrónomo Martin Rees, el físico teórico Lee Smolin, etcétera. Algunos de ellos comparten puntos de vista, otros disienten... pero lo que emerge en *El nuevo humanismo: y las fronteras de la ciencia* es un diálogo que sirve tanto de introducción a algunas de las mentes científicas más lúcidas del siglo XXI como de punto de partida para crear una sinergia entre la ciencia y las humanidades, dos esferas que, hasta el presente, parecían virtualmente incompatibles.

John Brockman es autor y editor de más de veinte libros, entre los que destaca *Los próximos 50 años*, publicado por Kairós. Es fundador y presidente del sitio web *Edge* (http://www.edge.org), cuyo foro reúne a eminentes científicos y pensadores.

Foto cubierta: AGE/Comstock

ISBN: 978-84-7245-844-0

9 788472 456440

Nueva Ciencia